

Univerzita Palackého v Olomouci

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Jan ZELINKA

**RETENCE POVODŇOVÝCH VOD
V LUŽNÍM LESE**

Diplomová práce

Vedoucí práce: RNDr. Aleš Létal, Ph.D.

Olomouc 2008

Prohlašuji, že jsem zadanou diplomovou prací řešil sám a veškerou použitou literaturu jsem uvedl v seznamu literatury.

Olomouc 23. dubna 2008

.....

Děkuji panu RNDr. Aleši Létalovi, Ph.D. za věcné připomínky a odborné vedení mé diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Správě CHKO Litovelské Pomoraví za mimořádně vstřícné jednání, pomoc při terénním výzkumu a věcné připomínky k mé diplomové práci. Děkuji rovněž konzultantovi Ing. Jakubovi Štibingerovi, CSc. za vstřícný přístup při řešení mé diplomové práce. Děkuji také RNDr. Jarmile Měkotové, Ph.D. za poskytnuté informační materiály. Za pomoc při terénním výzkumu děkuji: Lukáši Chrástovi, RNDr. Aleši Létalovi, Ph.D., Bc. Janu Smékalovi, Bc. Janě Smolové, Mgr. Daniele Stonové, Mgr. Lucii Strejčkové, Alexandře Vokálové.



Vysoká škola: Univerzita Palackého

Fakulta: Přírodovědecká

Katedra: Geografie

Školní rok: 2006/07

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student

Jan ZELINKA

obor

1301R005 Geografie

Název práce:

Retence povodňových vod v lužním lese

Floods Water Retention in Flood Plain Forests

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je studium a hodnocení retence povodňových vod v lužním lese. Diplomant vyhodnotí existující studie řešící daný problém a na základě vlastního měření v terénních podmínkách zjistí hodnotu retence na vybraných lokalitách pro modelové povodňové situace. Při realizaci terénního výzkumu bude využito totální stanice a dGPS. Autor bude terénní výzkum realizovat na předem vytipovaných lokalitách v prostoru CHKO Litovelské Pomoraví v úzké spolupráci s Katedrou ekologie PřF UP i správou CHKO. Výsledky budou konfrontovány s odlišným typem krajiny (orná půda, trvalé travní porosty).

Struktura práce:

1. Úvod
2. Cíle a metody práce
3. Vymezení zájmového území
4. Úvod do problematiky
5. Retence povodňových vod v lužním lese
6. Zhodnocení použitých metod i výsledků
7. Závěr
8. Shrnutí (v angličtině)
9. Přílohy

Diplomová práce bude zpracována v těchto kontrolovaných etapách:

- I. Studium odborných pramenů - rešerše literatury (říjen 2006 - březen 2007)
- II. Sběr informací, terénní výzkum a doplnění odborných pramenů (březen 2007-říjen 2007)
- III. Vyhodnocení zjištěných informací a dat, terénní výzkum, tvorba grafických výstupů (říjen 2007 - únor 2008)
- IV. Finalizace textové části (únor – březen 2008)

Rozsah grafických prací: text, grafy, mapy dle potřeb práce

Rozsah průvodní zprávy: 20 000 slov základního textu + práce včetně všech příloh v elektronické podobě

Seznam doporučené literatury:

Doporučená literatura je pouze orientační s tím že diplomant v rámci řešení provede rešerši veškeré dostupné literatury.

Hladný, J a kol: Vyhodnocení povodňové situace v červenci 1997. Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ).

Janeček, M. et al. (1998): Vliv stavu a využívání krajiny na povodňovou situaci. Praha-Zbraslav, VÚMOP.

KANTOR, P. - ŠACH, F. (2003): Účinnost lesních ekosystémů při tlumení povodní. In: Lesy a povodně. Celostátní seminář. Praha, 25. června 2003. Česká lesnická společnost.


Kolář, V. et al. (1998): Geodetická dokumentace pro vyhodnocení povodně a tvorbu digitálního modelu říčního systému. Praha, VÚV T.G.M.

Kulasová, B. et al. (1996): Metodické postupy odvozování návrhových extrémních povodní pro posuzování bezpečnosti přehrad. Praha, ČHMÚ.

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Aleš Létal, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 30.10. 2005

Termín odevzdání diplomové práce: březen 2008



vedoucí katedry



vedoucí diplomové práce

OBSAH

1	ÚVOD	7
2	CÍL PRÁCE	8
3	METODY ZPRACOVÁNÍ	9
4	VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	11
5	KOMPLEXNÍ FYZICKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA	14
5.1	GEOMORFOLOGICKÉ ČLENĚNÍ	14
5.2	HYDROLOGICKÉ POMĚRY	17
5.3	PEDOGEOGRAFICKÉ POMĚRY	22
5.4	KLIMATICKÉ POMĚRY	23
5.5	BIOGEOGRAFICKÉ POMĚRY	24
5.5.1	<i>Flóra CHKO Litovelské Pomoraví</i>	24
5.5.2	<i>Fauna CHKO Litovelské Pomoraví</i>	25
6	MĚŘENÍ TVARŮ RELIÉFU LUŽNÍHO LESEA TOTÁLNÍ STANICÍ	26
6.1	TERÉNNÍ VÝZKUM	26
6.2	ZPRACOVÁNÍ DAT	27
6.2.1	<i>Analýza příčných profilů</i>	29
6.2.2	<i>Analýza modelu říční krajiny</i>	32
7	INFILTRACE PŮD	38
7.1	POPIS DVOUVÁLCOVÉHO INFILTROMETRU, JEHO INSTALACE A METODIKA MĚŘENÍ INFILTRACE....	39
7.2	VÝSLEDKY MĚŘENÍ DVOUVÁLCOVÝM INFILTROMETREM	42
7.2.1	<i>Infiltrace v nivní louce</i>	43
7.2.2	<i>Infiltrace v lužním lese</i>	45
7.2.3	<i>Infiltrace orné půdy</i>	48
7.3	ODBĚR PŮDNÍCH VZORKŮ PRO ANALÝZU ZRNITOSTI.....	49
8	RETENCE POVODŇOVÝCH VOD V LUŽNÍM LESE	50
8.1	ÚVOD DO PROBLEMATIKY	50
8.2	VYHODNOCENÍ RETENCE NA ZÁKLADĚ TERÉNNÍCH MĚŘENÍ	53
9	ZÁVĚR	56
10	SUMMARY	58
11	POUŽITÁ LITERATURA	59
	PŘÍLOHY	

1 ÚVOD

Chráněná krajinná oblast Litovelské Pomoraví byla vyhlášena 12. listopadu 1990. Chráněna je především část nivy s typickými lužními lesy. V úseku, kde Morava vytéká z průlomového údolí mezi Mohelnickou brázdou a Hornomoravským úvalem a větví se na ramena, jsou zachovány její přirozené meandry a zákruty. Tato periodicky zaplavovaná ramena (dále označována jako smuhy), na Hané označována jako „smohe“ se plní vodou při zvýšené hladině z koryta řeky Moravy. Systém těchto koryt tedy může sloužit k odvodu určitého množství vody z koryta řeky Moravy.

K tomuto tématu mě přivedl zájem o geografii a ochranu životního prostředí. Zajímalo mě také, jak je to s tvrzením, že přírodní ekosystém lužního lesa dokáže pojmout či zpomalit srovnatelné množství povodňových vod jako některé přehradní nádrže. Po dohodě s vedoucím diplomové práce následovalo vytipování lokality ve spolupráci s katedrou ekologie a životního prostředí Univerzity Palackého v Olomouci, konkrétně prof. RNDr. Otakarem Štěrbou, CSc. a RNDr. Jarmilou Měkotovou, Ph.D. Vzhledem k mé studijní kombinaci jsem část diplomové práce věnoval i ochraně území související s vyhlášením oblasti chráněnou krajinnou oblastí.

Dosud nebyl proveden detailní popis tohoto území, proto věřím, že moje práce obohatí soubor informací o periodicky zaplavovaných říčních korytech v CHKO Litovelském Pomoraví.

2 CÍL PRÁCE

Cílem práce je studium a hodnocení retence povodňových vod v lužním lese. Na základě měření v terénních podmínkách zjistím hodnotu retence na vybraných lokalitách pro modelové povodňové situace.

Prvním cílem je podat na základě studia odborné literatury komplexní geografickou charakteristiku zájmového území. S ohledem na typ reliéfu jsem věnoval největší pozornost hydrogeografickým poměrům. Dále jsou zpracovány charakteristiky geomorfologické, klimatologické, pedogeografické a biogeografické.

Hlavním cílem práce je podrobný terénní výzkum, jehož náplní je základní charakteristika reliéfu lužního lesa se zaměřením na velikost a tvar periodicky zaplavovaných říčních koryt. Rovněž byl proveden terénní výzkum infiltrace půd ve sledovaných typech využití země (les, louka). Byly také odebrány vzorky půdy na zrnitostní složení.

Součástí diplomové práce je vedle vlastní textové části také část grafická v podobě fotodokumentace z terénního výzkumu a mapové přílohy. Text diplomové práce je členěn do kapitol. První kapitoly jsou věnovány geografickým charakteristikám zájmového území, další kapitoly se vztahují k vlastnímu terénnímu výzkumu a vyhodnocení naměřených dat.

3 METODY ZPRACOVÁNÍ

Při zpracovávání diplomové práce jsem využíval několik metod. První z nich bylo **studium literárních pramenů**. Studoval jsem obecné publikace, které se zabývají lužními lesy v České republice, dále publikace důležité pro sestavení fyzickogeografických poměrů zájmového území. Důležité byly také publikace vztahující se přímo k území CHKO Litovelské Pomoraví. Srovnával jsem rovněž práce popisující metodiku měření infiltrace půd.

Pro tvorbu diplomové práce jsem též využíval **mapové materiály**, které sloužily zejména při terénním výzkumu. Výchozím mapovým dílem při studiu území byla Základní mapa ČR v měřítku 1 : 25 000 (list 24 – 222 Štěpánov).

K obohacení a upřesnění poznatků získaných z mapových děl a literatury jsem používal metodu **interview**. Cenné rady a informace mi byly předány panem Ing. Jakubem Štibingerem, CSc., který mi poskytl své poznatky a vydanou metodickou příručku pro měření infiltrace půd při terénním výzkumu.

Nejdůležitější metodou při zpracování diplomové práce byl však **terénní výzkum**, který probíhal v období říjen 2006 – duben 2008. Během výzkumu jsem prováděl zaměřování tvarů reliéfu totální stanicí a diferenční GPS. Dále bylo provedeno měření dvouúčelovým infiltrometrem pro zjištění infiltrace (vsaku) vody do půdy. S měřením infiltrace do půdy byl proveden rovněž odběr půdních vzorků pro určení zrnitosti půd.

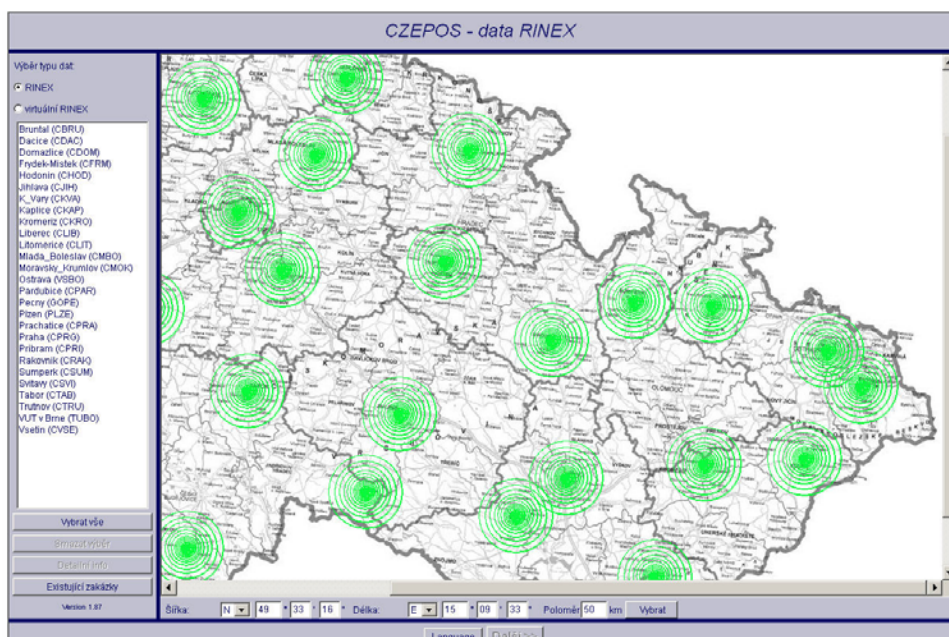
V rámci terénního výzkumu bylo využito přístrojové techniky katedry geografie k přesnému určování polohy a také pro měření kapacity infiltrace a odběr půdních vzorků.

Hlavní metodou přesného určování polohy bylo měření s totální stanicí Trimble 5503 Standard. Tato profesionální geodetická stanice umožňuje měřit polohu záměrou na odrazový hranol (laserový paprsek), nebo měření v bezhranolovém módu. V prostoru kde probíhalo měření nebylo možné provázání na přesnou geodetickou polohovou síť. Pro potřeby práce byla využita DGPS (Diferenční GPS) souprava Ashtech Promark2 v kombinaci se sítí CZEPOS (Česká síť permanentních stanic pro určování polohy).

Síť CZEPOS poskytuje uživatelům GPS korekční data pro přesné určení pozice na území České republiky. V daném případě byla využita korekční data v režimu postprocessing (po provedení měření v terénu).

Pro vlastní vyhodnocení výsledků práce, kromě měření kapacity infiltrace, byl použit GIS software ArcGIS 9.2 s nadstavbami (3D Analyst, Spatial Analyst s hydrologickými funkcemi). Mapové podklady pro tvorbu mapových výstupů i pro analýzy dat z měření byly získány na ČUZK (Státní mapa odvozená 1:5 000), nebo byly využity Webové mapové služby Ministerstva životního prostředí (CENIA) v ArcGIS (letecký snímek, DMÚ 25, základní mapa 1: 10 000).

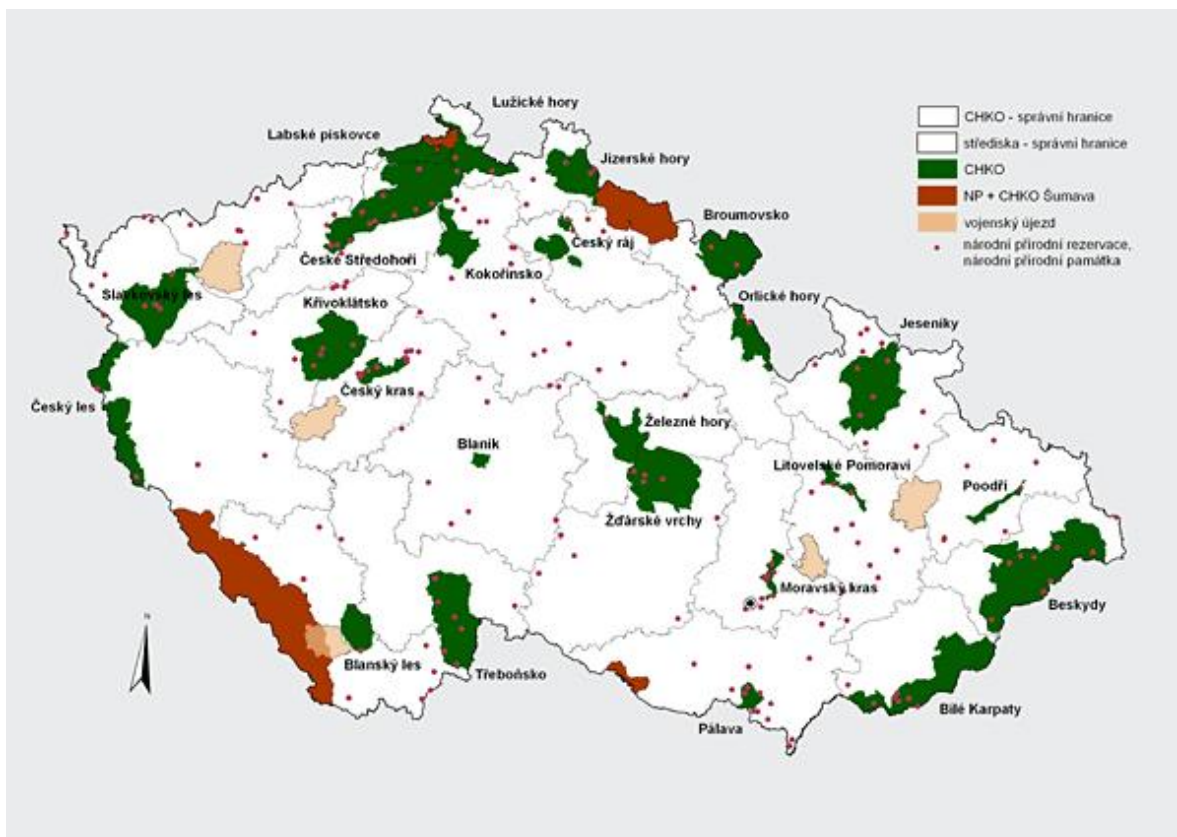
Zpracování dat při měření totální stanicí probíhalo v softwaru Groma 8.0, vyhodnocení DGPS měření potom v Softwaru Ashtech Solution 2.0 a Transform 6.0 (převod do S-JTSK souřadnicového systému).



Obr. 1: Ukázka uživatelského rozhraní CZEPOS pro stažení korekčních dat (<http://czezos.cuzk.cz>)

4 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Chráněná krajinná oblast Litovelské Pomoraví má tvar protáhlý ve směru toku řeky Moravy (SZ-JV) a leží převážnou částí v Hornomoravském úvalu v Západních Vněkarpatských sníženinách. Severozápadní cíp zasahuje do Mohelnické brázdy, masivem Třesína do Bouzovské vrchoviny a vyvýšenou levobřežní částí do vrchoviny Úsovské. Právě v Úsovské vrchovině je nejvyšší bod CHKO Jelení vrch s nadmořskou výškou 345 m. Nejnižším bodem CHKO je místo v Olomouci-Černovíru, kde řeka Morava opouští chráněné území v nadmořské výšce přibližně 245 m.



Obr. 2: Poloha CHKO Litovelské Pomoraví v rámci ČR (www.ochranaprirody.cz)



Obr. 3: Vymezení CHKO Litovelské Pomoraví (www.mapy.cz)



Obr. 4: Vymezení zájmového území (www.mapy.cz)

Na základě dohody s katedrou ekologie a životního prostředí Univerzity Palackého v Olomouci byla stanovena lokalita východně od obce Hynkov, v CHKO Litovelské Pomoraví (vyznačeno na obr. č. 4). Jedná se o území s lužními lesy a nivními loukami a přilehlou zemědělskou půdou. Jde o území s množstvím vedlejších koryt řeky Moravy, které v dnešní době nejsou celoročně protékána. V lužním lese, ale i na přilehlých nivních loukách můžeme nalézt velké množství depresí.

5 KOMPLEXNÍ FYZIKOGEOGRAFICKÁ CHARAKTERISTIKA

5.1 Geomorfologické členění

CHKO Litovelské Pomoraví leží při hranicích dvou provincií: České vysočiny a Západních Karpat. V této kapitole kromě geomorfologického členění zahrnují také podrobnější popis geomorfologických jednotek, a to celku, podcelku a okrsku.

Členění geomorfologických jednotek dle Demka ed. a kol. (1987)

Provincie

Subprovincie (soustava)

Podsoustava

Celek

Podcelek-okrsek

Česká vysočina

Krkonošsko-jesenická soustava

Jesenická podsoustava

Mohelnická brázda

Hornomoravská niva

Hanušovická vrchovina

Úsovská vrchovina – Medlovská pahorkatina

Mohelnická brázda

Mohelnická brázda je protáhlá sníženina protékaná Moravou mezi Zábřežskou vrchovinou na Z a Hanušovickou vrchovinou na V. Plocha činí 122,16 km². Střední výška celku je 288,8 m se středním sklonem 2°08'. Jedná se o neotektonickou sníženinu směru SSZ-JJV vzniklou poklesy ker v pliocénu. Je široká 3-5 km a vyplněná z větší části přes 300 m mocnými pliocenními a čtvrtohorními usazeninami. Osu sníženiny tvoří široký okrsek Hornomoravská niva. V jihozápadní části sníženiny se vytvořily náplavové kužely Moravské

Sázavy, Mírovky a Třebůvky. Dále se vyskytují akumulární říční terasy a mírné svahy na neogenních usazeninách kryté většinou sprašovými hlínami, případně sprašemi. V tomto celku nalezneme chráněná území CHKO Litovelské Pomoraví, PR Moravičanské jezero.

Hornomoravská niva

Hornomoravská niva je široká náplavová rovina kolem řeky Moravy, která tvoří osu sníženiny Mohelnické brázdy. Její ploch činí 86,29 km². Je složená ze spodního štěrkopísčitého souvrství většinou pleistocenního stáří a svrchního souvrství hlinitých písků a hlín holocenního stáří. V jižní části pod městem Mohelnice leží CHKO Litovelské Pomoraví, PR Moravičanské jezero, PP Za mlýnem, dále PR Doubrava, PR Pod Trlinou. V rovině nalezneme louky a pole, kolem města Mohelnice velká štěrkoviště.

Hanušovická vrchovina

Hanušovická vrchovina má charakter vrchovin a kotlin při západním úpatí Hrubého Jeseníku. Plocha činí 795,3 km² a střední sklon 8°03'. Vrstvy jsou složené hlavně z krystalických břidlic a zvrásněných prvohorních usazenin Českého masivu, ve sníženinách nalezneme neogenní a kvarterní horniny. Povrch je hluboko rozčleněn zaříznutými údolními vodními toků. Na vrcholech a na hřebenech jsou skalní útvary – izolované skály, skalní hradby, mrazové sruby apod.

Úsovská vrchovina

Podcelek v jižní části Hanušovické vrchoviny. Jedná se o členitou vrchovinu s výrazně stupňovitou stavbou. Rozkládá se na ploše 172,76 km². Střední výška činí 351,6 m a střední sklon 5°22'. Je složená hlavně z krystalinika desenské klenby, z devonských krystalických břidlic a sedimentů ze spodnokarbonských usazenin. Ve sníženinách jsou pliocenní a čtvrtohorní usazeniny a na vrcholech jsou skalní útvary s kryoplanačními terasami a dalšími kryogenními tvary. Mezi Úsovem a Třeštinou je náplavový kužel Rohelnice. V

nižších částech převládají louky a pole. V jižní části leží CHKO Litovelské Pomoraví.

Medlovská pahorkatina

Okrsek v jižní části Úsovské vrchoviny. Jedná se o členitou pahorkatina až plochou vrchovinu s povrchem pozvolna se sklánějícím od S k J a od Z k V. Plocha okrsku je 34,78 km². Pahorkatina je tvořená devonskými fylity místy s polohami křemenců stínavsko-chabičovského souvrství, spodnokarbonskými drobami a břidlicemi. Mezi jižní částí Mohelnické brázdy a severní částí Hornomoravského úvalu leží klínová kra. Místy se vyskytují ostrůvky neogenních usazenin. Okraje jsou překryty sprašemi a sprašovými hlínami.

Západní Karpaty

Vněkarpatské sníženiny

Západní vněkarpatské sníženiny

Hornomoravský úval

Středomoravská niva

Hornomoravský úval

Hornomoravský úval je celek Západních Vněkarpatských sníženin. Je to široká protáhlá sníženina s plochou 1318,43 km², střední výškou 225,8 m a středním sklonem 0°54'. Příkopová propadlina je vyplněna neogenními a kvarterními usazeninami. Osu tvoří široká niva řeky Moravy v okrsku Středomoravská niva. V západní části se vyskytují nížinné pahorkatiny. Ve východní části jsou náplavové kužely toků stékajících z Jeseníků. Sníženina je vyplněna převážně palem. V nivách nalezneme lužní lesy a louky.

Středomoravská niva

Středomoravská niva je podcelek ve střední části Hornomoravského úvalu. Jedná se o širokou náplavovou rovinu podél řeky Moravy a dolní Bečvy. Její plocha činí 437,47 km², střední výška 206,1 m a střední sklon 0°22'. Nivu tvoří

čtvrtohorní sedimenty – spodní štěrkopískové souvrství písčitých hlín a hlinitých písků. Nalezneme i mrtvá ramena řek Moravy a Bečvy. Z chráněných území lze jmenovat např. NPR Ramena řeky Moravy, PP Panenský les.

5.2 Hydrologické poměry

Řeka Morava je páteřní řekou povodí o rozloze 26 579,69 km² a vlévá se do Černého moře. Délka toku od pramene po ústí je 354,05 km a délka v CHKO je přibližně 44 km. Na území CHKO tvoří řeka Morava poslední větší úsek neregulovaného nížinného toku (mezi Litovlí a ústím Benkovského potoka, krátký úsek nad Litovlí - Vrapač).

Benkovský potok

Benkovský potok pramení u Králové ve výšce 260 m n. m.. Do Moravy ústí zleva u Štěpánova v nadmořské výšce 218 m n. m. Plocha povodí činí 45,8 km², délka toku 23,7 km a průměrný průtok u ústí 0,09 m³/s. Jedná se o vodohospodářsky významný tok. (Vlček a kol. 1984)

Mlýnský potok

Mlýnský potok pramení u Měrotína ve výšce 348 m n. m.. U Hynkova ústí zprava do Moravy v nadmořské výšce 222 m n. m. Plocha povodí činí 53,8 km², délka toku dosahuje 14,2 km a průměrný průtok je 0,16 m³/s. Jedná se o vodohospodářsky významný tok. (Vlček a kol. 1984)

Morava

Morava se v CHKO rozvětňuje a tvoří trvalá i periodická ramena. Tuto vodní síť nazýváme vnitrozemskou deltou, odborně pak anastomózní říční systém. Ojedinelost tohoto fenoménu ve střední Evropě dokládá i zařazení území CHKO do seznamu Ramsarské konvence. Od silnice Mohelnice-Stavenice až po cestu Mladeč-Nové Zámky je řeka víceméně částečně regulována a upravena, následuje asi dvoukilometrový úsek přirozeně meandrujícího toku. Nad Litovlí a v

intravilánu města je řeka regulována. Pod Litovlí následuje dlouhý úsek toku (až po ústí Benkovského potoka) přirozeně meandrujícího toku chráněný v NPR Ramena řeky Moravy. V tomto úseku je provedeno jen několik krátkých stabilizačních úprav toku (nad mosty, jezy). Přirozený charakter toku má obrovský význam pro samočisticí schopnost řeky, která je v tomto úseku velmi vysoká. Lužní les protkaný systémem periodických ramen - smuh je existenčně závislý na zachování přirozeného charakteru řeky a jejího záplavového režimu.

Režim vodnosti řeky Moravy spojený s pravidelnými povodněmi vedl ke vzniku specifického ekosystému lužních lesů. Lužní les je adaptován na pravidelné povodně takovým způsobem, že bez nich nedokáže existovat.

Škálu a typ přirozených říčních biotopů vytvářejí především říční procesy. Voda proudí, spotřebovává se energie na transport materiálu a jeho opakované ukládání v korytě řeky a říční nivě (Gordon et al. 1992).

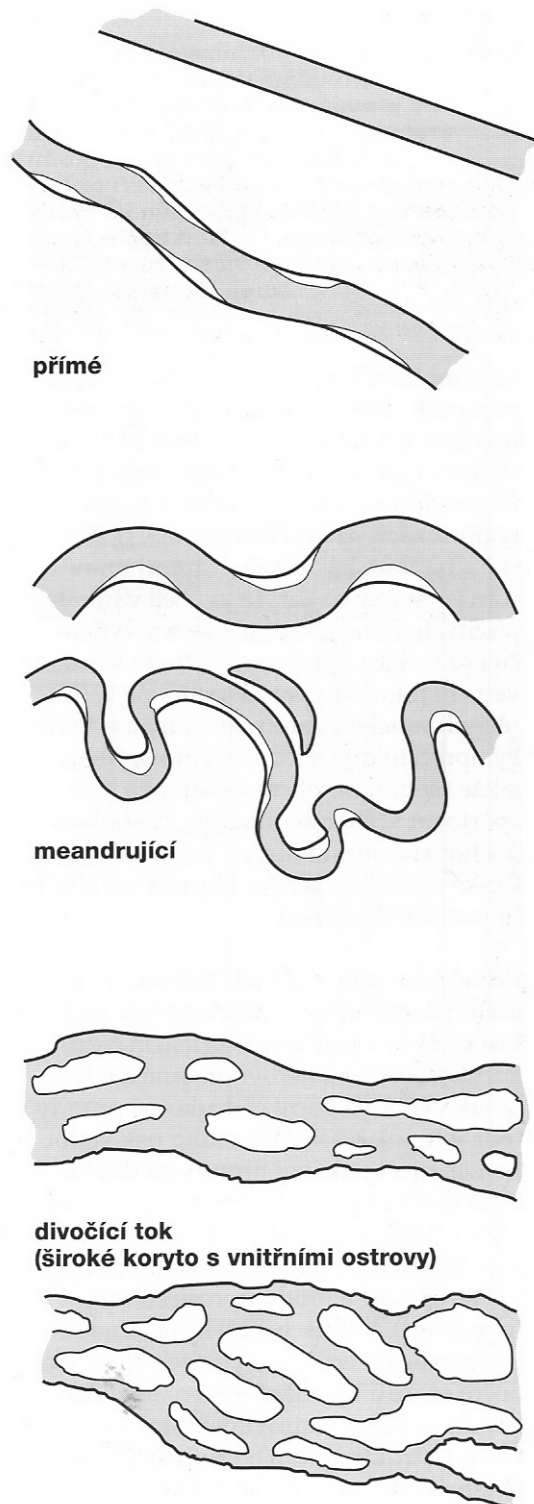
Posouvají se meandry, břehy podléhají erozi, vytvářejí se nová boční ramena a stará, která jsou postupně přirozeně odstavována, se stávají slepými nebo mrtvými rameny se stojatou vodou a dále se dělí na nivní tůň, občasné tůň a nivní louky.

Velikost a tvar říčního koryta jsou částečně utvářeny i povodňovými průtoky, které ovlivňují erozi a transport splavenin.

Říční koryta v přírodním stavu mohou mít různý tvar (obr. č. 5). Mohou být přímá až meandrující, mohou být rozvětvena do více ramen. I když je tvar toku ovlivňován různými faktory, např. charakterem materiálu břehu či dna, hlavní podíl na jeho utváření má energie proudu. Tu lze považovat za ukazatel erozní kapacity vodního toku. Energie proudu se zvyšuje s průtokem.

V České republice se v některých nížinných úsecích řek vyvinul tzv. anastomózní (rozvětvený) říční vzor. Takové řeky se dělí na větší počet samostatných ramen, která jsou od sebe zřetelně oddělena. Větvící se říční toky byly jako samostatný říční vzor rozeznány teprve nedávno. V minulosti byly větvící se říční toky zahrnovány do jedné kategorie divočících toků. Anastomóza se totiž podobně jako divočení vyznačuje častými bifurkacemi koryta. Pro divočení jsou však charakteristické řeky transportující štěrkové a písčité sedimenty v nestálých, rychle se bočně přemísťujících korytech. Naproti tomu u anastomózy se koryta

vyvíjejí v hlinitopísčitých nivních sedimentech a vyznačují se velkou stabilitou. Příkladem dochované anastomózy v podmínkách České republiky je právě řeka Morava v CHKO Litovelské Pomoraví. (Králová 2001)



Obr 5: Různé tvary říčního koryta (Gordon et al., 1992)

Je důležité si uvědomit, že řeky a říční nivy jsou dynamickými systémy. Neustále se přizpůsobují změnám průtoků a ukládání splavenin. Tyto změny ovlivňují koryta toků, změnu trasy toku, vytvářejí nová koryta a postupně odstavují stará řečiště.

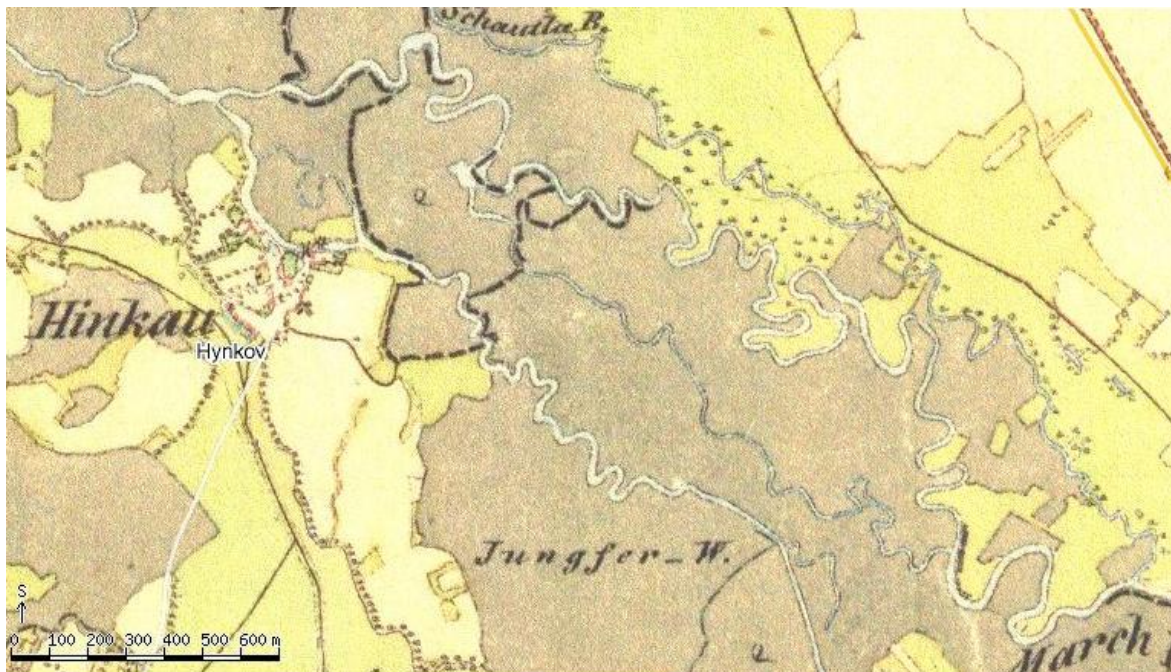
Změny v uspořádání říční sítě v posledních zhruba 200 letech byly rekonstruovány pomocí studia archivních mapových podkladů. Ze starších historických map Moravy z období od 2. pol.16. století do počátku 18. století byly použity Fabriciova, Komenského, Cornelliho a Mülerova mapa Moravy. Tyto mapy podávají pouze rámcový obraz o průběhu koryta, jeho větvení a přítocích. Nejzajímavější informace přinesla analýza Mülerovy tzv. stavovské mapy Moravy z r. 1716 a její odvozeniny. Počátek větvení zachycuje mapa v oblasti Třesínského prahu, dále po toku jsou patrná tři ramena Moravy (znázorněno na obrázku č. 6). Nejvýrazněji je zakresleno nejsevernější rameno, které lze identifikovat jako Zámeckou Moravu, jež je dnes neaktivním ramenem. Všechna tři ramena byla v té době rovnocenná nebo jako hlavní řídicí tok působila Zámecká Morava. (Kirchner, Ivan 1999)

Dnes je toto koryto označováno jako Štěpánovská smuha. V období jarních povodní bývá pravidelně naplňována z koryta řeky Moravy a působí jako dočasné průtočné koryto. Voda v některých částech smuhy vydrží až do letních měsíců.

Historickou analýzou bylo zjištěno, že od 2. poloviny 18. století postupně dochází k oslabování funkčnosti systému ramen a transport vody a sedimentů se stále více soustřeďuje do dnešního hlavního koryta Moravy. Pro hlavní tok je charakteristický vývoj a zaškrcování meandrů v časovém období řádově desítky až stovky let. Meandry se vyvíjely intenzivně laterálně (bočně), ale téměř nedocházelo k jejich posouvání směrem po proudu v rámci meandrového pásu. (Kirchner, Ivan 1999)

Jak uvádí Kirchner a Ivan (1999) na rozdíl od hlavního toku vývoj bočných ramen nezaznamenal od konce 18. století mapovatelných změn. Systém větších i menších ramen zůstal v půdorysu do současnosti prakticky nezměněn. Tento stav je zřejmě způsoben tím, že většina trvale zprůtočňovaných ramen je dotována vodou nadrženou na jezích vybudovaných na hlavním toku. Jezy způsobují, že ramena

dostávají v podstatě stále stejné množství vody s minimální fluktuací průtoku během roku. Utlumená dynamika průtoku společně s ochranným účinkem kořenového balu vegetace lužního lesa stabilizujícího břehy způsobují, že meandry na bočních ramenech se již 200 let téměř nevyvíjejí.



Obr. 6: Historické vyobrazení 3 koryt řeky Moravy (www.mapy.cz)

Štěpánovská smuha

Štěpánovská smuha se odděluje zleva od Moravy v prostoru tzv. Kenického meandru nově vytvořeným korytem. Nové koryto bylo vytvořeno kvůli napojení zachované trasy smuhy na řeku a obnovení jeho funkce periodicky průtočného ramene. (Máčka 2001)

Tvar koryta Štěpánovské smuhy je v různých úsecích variabilní. Od úzkých a hlubokých koryt až po mělká a široce rozevřená koryta. Patrné jsou také procesy zazemňování – zvláště při silnějších povodních, kdy dochází k ukládání písčiny náplavů na jesebních březích smuhy. Kromě toho je smuha také zazemňována organickým materiálem (především opadem listů).

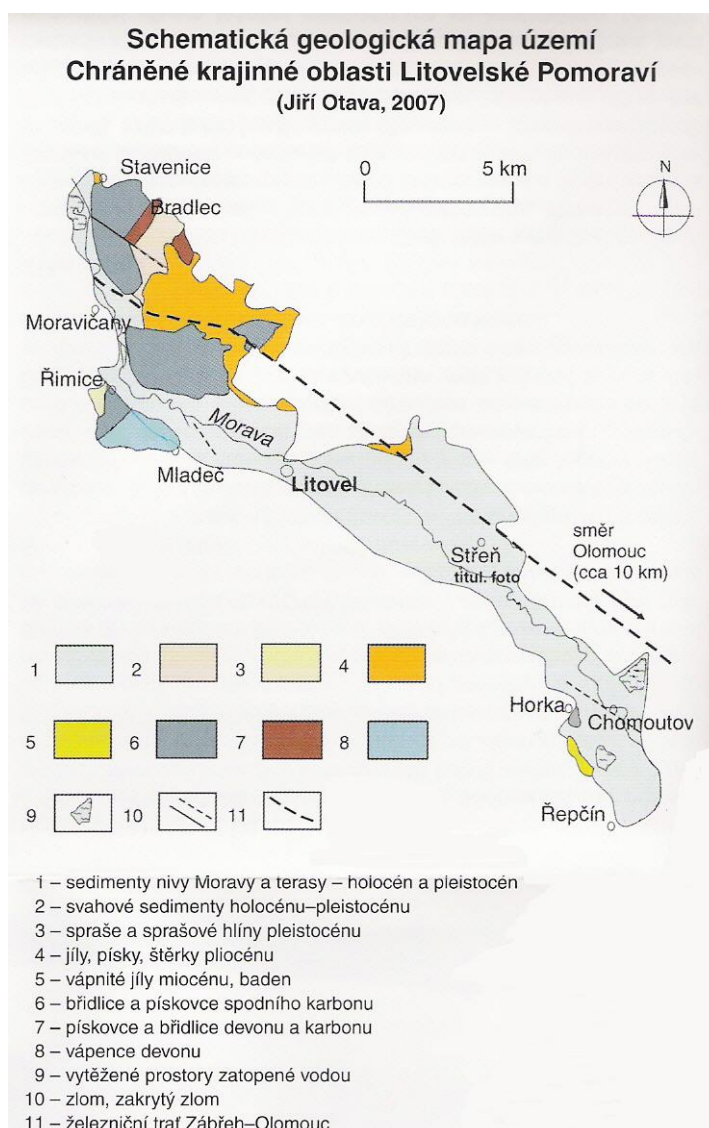
Na Štěpánovské smuze se nachází řada meandrových zákrutů, často bizarních tvarů, pěkným příkladem je zdvojený meandr ve střední části smuhy. Pokud nacházíme na říčních ramenech meandry, svědčí to jednoznačně o minulém trvalém zprůtočnění takovýchto ramen. Meandr je totiž forma vznikající

bočným posouváním koryta vyvolaným laterální erozí výsepních (nárazových) břehů a akumulací sedimentů na březích jesepních. (Máčka 2001)

Při povodních zvyšuje zprůtočnění smuhy celkovou kapacitu koryt pro převod vody údolní nivou.

5.3 Pedogeografické poměry

Jednotlivé typy a druhy půd se odvíjejí od geologické stavby zájmového území. Schématická geologická mapa je znázorněna na obr. č. 7.



Obr. 7: Schématická geologická mapa CHKO Litovelské Pomoraví (Otava 2007)

Půdami jsou glejové fluvizemě v širokém pásu táhnoucím se podél řeky Moravy. Modální hnědozemě jsou v oblasti Střene, Měníka a u obce Králová. V komplexu Doubravy převažují mezotrofní až eutrofní hnědozemní půdy (obecně modální kambizemě). V oblasti Nové Zámky až Nový Dvůr jsou výrazné stopy oglejení či pseudoglejení (obecně modální pseudogleje). Na velmi malou část území CHKO zasahují také luvické černozemě ze spraší Z od obce Pňovice. Na vápencích Třesína se tvoří hnědá rendzina.

5.4 Klimatické poměry

Území CHKO Litovelské Pomoraví, jako součást Hornomoravského úvalu Mohelnické brázdy leží, v mírném klimatickém pásu charakteristickém mírnými zimami i léty. Ve srovnání s jinými regiony tohoto pásu má území poměrně málo srážek, protože jeho západní vrchovinné omezení zachycuje značné množství vláhy přinášené do oblasti převažujícím západním a severozápadním vzdušným prouděním.

Z regionálně klimatologického hlediska řadí E. Quitt (1975) celé území do teplé klimatické oblasti T2. Jednotlivé charakteristiky této oblasti jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tab. 1: Jednotlivé charakteristiky teplé klimatické oblasti T2 dle Quitta (1975)

KLIMATICKÁ OBLAST	T 2
Počet letních dnů	50 – 60
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	160 – 170
Počet mrazových dnů	100 – 110
Počet ledových dnů	30 – 40
Průměrná teplota v lednu (°C)	-2 – -3
Průměrná teplota v červenci (°C)	18 – 19
Průměrná teplota v dubnu (°C)	8 – 9
Průměrná teplota v říjnu (°C)	7 – 9
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90 – 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období	350 – 400
Srážkový úhrn v zimním období	200 – 300

Počet dnů se sněhovou pokrývkou	40 – 50
Počet dnů zamračených	120 – 140
Počet dnů jasných	40 – 50

Podrobnější charakteristika teplé klimatické oblasti T2 dle Quitta (1971):

Jedná se o oblast s dlouhým, teplým a suchým létem. Přejídné období je velmi krátké s teplým až mírně teplým jarem i podzimem. Zima je krátká, mírně teplá, suchá až velmi suchá s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky.

5.5 Biogeografické poměry

O důležitosti území vypovídá vyhlášení chráněné krajinné oblasti Litovelské Pomoraví (29. 10. 1990) a zařazení území jako mezinárodně významný mokřad na seznam Ramsarské úmluvy (2. 11. 1993). Rozloha: 5 122 ha. Splňuje kritéria 1 (mezinárodně významný, jedinečný příklad v biogeografickém regionu) a kritérium 3 (význam pro biodiverzitu rostlin a/nebo živočichů.) Pravděpodobně splňuje i kritérium 2 (podporuje vzácné, ohrožené a kriticky ohrožené druhy nebo ohrožené ekosystémy). To ale zatím nebylo oficiálně schváleno.

5.5.1 Flóra CHKO Litovelské Pomoraví

V současné struktuře lesní vegetace se ve značné míře uplatňují porosty přirozeného charakteru, zejména lužní lesy, smíšené dubohabrové háje, lipové dubohabřiny a olšiny, které si dodnes udržely vesměs málo pozměněnou skladbu dřevin, takže právem patří – díky svému rozsahu, zachovalému charakteru i floristické a vegetační pestrosti – ke klenotům krajiny střední Moravy.

Společenstva rákosin, vysokých ostřic a vlhkých až čerstvě vlhkých luk jsou v CHKO Litovelské Pomoraví omezena výhradně na oblast nivy, zatímco výše položená území říčních teras jsou přeměněna v ornou půdu.

Charakteristickým znakem typickým pro lužní les je především bohatě vyvinutý jarní aspekt. S příchodem jara rozkvétají porosty sněženek (*Galanthus nivalis*) a bledulí (*Leucojum vernum*). V době rašení listů na stromech se objevuje

pestrobarevný aspekt plicníků (*Pulmonaria officinalis*), prvosenek (*Primula veris*) a dalších druhů jako např. česnek medvědí (*Allium ursinum*), sasanka pryskyřníkovitá (*Anemone Ranunculoides*), orsej jarní (*Ficaria bulbifera*), dymnivka dutá (*Corydalis cava*).

V létě pokračuje mohutný rozvoj, který v luhu tvoří neprostupnou „džungli“ kopřiv se spleť lián divokého chmele a neodbytnými hejny komárů. Dřevinná vegetace je rozvrstvena do několika pater. Horní obvykle vytváří mohutné duby letní a jasany, vzácně jilmy a topol černý. Ve spodních patrech lesa převažuje lípa malolistá, javor babyka, javor mléč, u vody olše lepkavá a vrby, na sušších místech habr a bříza (Husáková 2006).

Měkký luh je typ nížinného lužního lesa, který je silně ovlivněn proudem řek a voda při jarních povodních zde stagnuje po delší dobu než v případě tvrdých luhů. Název měkký tvoří hlavně stromy s měkkým dřevem jako jsou vrby a topoly.

Oproti tomu je tvrdý luh typem nížinného lužního lesa, kde dominují stromy s tvrdým dřevem, hlavně duby, jasany či jilmy. Jedná se o pravidelně zaplavovaný les – nejčastěji při jarních povodních způsobených táním sněhu v horských oblastech, ale je méně ovlivněný proudem řek a voda zde stagnuje kratší čas než v případě tzv. měkkých luhů.

5.5.2 Fauna CHKO Litovelské Pomoraví

Faunu CHKO Litovelské Pomoraví tvoří zejména zástupci společenstev řek a jezer (m.j. vydra říční a bobr evropský) a stálých a periodických tůní, kde žije řada obojživelníků (čolek obecný či skokan štíhlý). (Husáková 2006)

Dále periodické tůně obývají zástupci sladkovodních korýšů žábřonožka sněžní (*Siphonophanes grubii*) a listonoh jarní (*Lepidurus apus*). Důležitá jsou také společenstva mokřých luk a lužních lesů, kde ze vzácnějších ptáků hnízdí i čáp černý.

6 MĚŘENÍ TVARŮ RELIÉFU LUŽNÍHO LESA TOTÁLNÍ STANICÍ

6.1 Terénní výzkum

Terénní výzkum proběhl v období od března 2007 do dubna 2008. K terénnímu výzkumu byla používána totální stanice Trimble 5503 Standard. A souprava DGPS Ashtech Promark2. Pro měření totální stanicí byl použita tzv. polární metoda s volným stanovištěm (neznáme souřadnice stanoviště). Při polární metodě určujeme polohu bodu pomocí polárních souřadnic – **vodorovného úhlu** (mezi orientačním směrem a určovaným bodem) a **délky** (od stanoviště k určovanému bodu).



Obr. 8: Měření depresí v lužním lese totální stanicí (foto: J. Smékal, duben 2007)

Pro zaměření tvarů reliéfu lužního lesa a pokrytí plochy zájmového území bylo vytipováno 17 stanovišť. Jednalo se především o zmapování depresí v lužní krajině, které fungují jako retenční kapacity při povodních. Největší význam v lužní krajině hraje z hlediska retence vody při povodních systém bohatě větvených

periodicky zaplavovaných koryt. Významné jsou rovněž menší deprese v lužním lese a na nivních loukách. Dále byly mapovány významné struktury v krajině jako např. panelová lesní cesta. Zmapována byla především proto, že se předpokládá její význam jako bariéry při šíření povodňové vlny.

Bylo používáno měření za pomoci hranolu a měření v režimu direct reflex (měření bez hranolu). Záměrou na hranol nebo bezhranolové měření bylo zaměřené na vymapování hran a dna mikrotvarů reliéfu, které v zájmovém okolí představovaly lineární i plošné deprese, terasa koryta Moravy nebo systém smuh. Kromě přirozených tvarů reliéfu byly mapovány i antropogenní tvary, které ovlivňují nebo mohou ovlivnit zadržování vody při povodňové situaci (komunikace, mosty, propustky). V místě mapování nebylo možné navázání na trigonometrické nebo zhušťovací body (metoda volné stanovisko). I když se v terénu vyskytovaly stabilizované body místních měření (záměra panelové cesty) nebo i zhušťovací body, nebylo možné tyto využít, protože byly neúmyslně poškozeny nebo přesunuty zemědělskou či lesní mechanizací. Terénní mapování tvarů bylo možné řešit jen v období roku, kdy nebyl rozvinut letní aspekt a obecně vegetace keřového patra. Ztížené podmínky v letních měsících představovalo obtěžování bodavým hmyzem. V zimním období bylo měření zkráceno dobou výdrže baterie (omezení kapacity baterie chladem). Zmapovaná síť bodů představovala hlavní vstupní data pro tvorbu digitálního modelu reliéfu lužní krajiny formátu TIN (Triangulated Irregular Network). Z něj bylo potom možné odvodit a modelovat jednotlivé scénáře výšky hladiny povodně nebo také profily územím. Výsledkem měření je model reliéfu zájmového území se scénáři situací s odlišnou výškou hladiny (příloha č. 4) a příčné profily 1 – 8 zájmovým územím (příloha č. 3).

6.2 Zpracování dat

Zpracování naměřených dat a jejich využití bylo možné díky použití několika softwarových produktů.

Pro zpracování a export výsledků mapování totální stanicí byl použit geodetický software Groma 8. Zde byly vypočítány souřadnice měřených bodů (polární metoda dávkou).

Předč.	Číslo	Hz	Z	Vod.délka	dH	Signál	Popis
404	212.5376	108.1401	13.28			0.00	
405	216.9495	109.3555	9.90			0.00	
406	229.9583	110.5933	10.73			0.00	
407	240.1159	110.5871	10.39			0.00	
408	246.6969	110.5511	10.28			0.00	
409	255.4628	110.8872	10.22			0.00	
410	262.4011	110.9943	10.54			0.00	
411	269.5524	110.9930	10.26			0.00	
412	276.2491	111.0514	9.95			0.00	
413	283.1185	112.7841	8.85			0.00	
414	291.7652	114.6351	7.76			0.00	
415	301.3175	114.9860	7.62			0.00	
416	312.0985	115.0992	7.95			0.00	
417	325.6996	115.0989	7.86			0.00	
418	335.0755	115.0990	7.55			0.00	
419	344.7843	115.6345	7.15			0.00	
420	354.9268	115.8683	5.79			0.00	
421	367.3093	115.8690	5.82			0.00	
422	379.0909	115.8718	5.84			0.00	
423	390.7222	115.7224	5.97			0.00	
424	8.4706	116.0791	6.76			0.00	
425	22.6922	115.8758	7.06			0.00	
426	33.8869	116.3528	6.76			0.00	
427	47.1431	116.7181	7.00			0.00	
428	62.1356	117.8229	6.10			0.00	
429	75.3817	118.0571	1.97			0.00	
430	84.8950	117.8230	5.97			0.00	
431	97.6932	117.8741	5.72			0.00	
432	111.7654	118.2482	5.77			0.00	
433	123.0870	118.2517	5.70			0.00	
434	132.6199	118.3716	5.51			0.00	
435	136.8345	109.5744	10.10			0.00	

Obr. 9: Uživatelské rozhraní softwaru Groma se souborem měření před výpočtem souřadnic

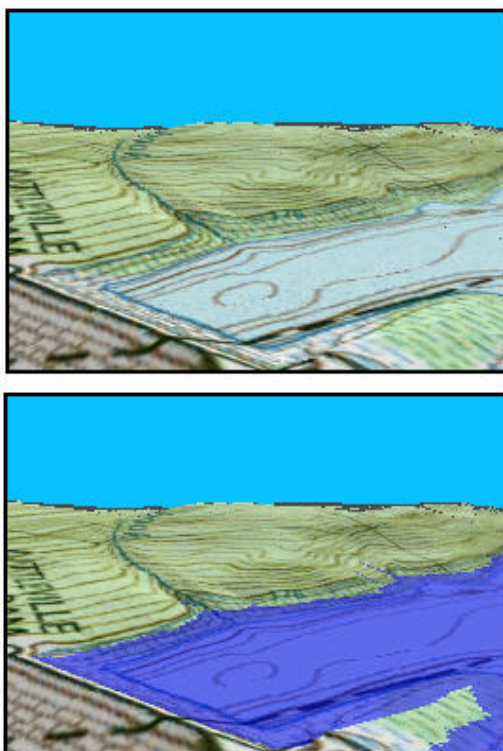
Pro vlastní výpočty souřadnic bylo nutné znát přesné souřadnice stanovisek nebo bodů orientace. Na základě těchto informací byly vypočítány souřadnice měřených bodů (X, Y, Z), které bylo možné načíst do ArcGIS.

Souřadnice stanovisek nebo bodů orientace eventuálně jiných pomocných bodů byly získány z DGPS Ashtech Promark2. Tato souprava umožňuje využívat korekčních dat v postprocessingovém vyhodnocení (software Ashtech Solution). Korekční data byla získána pomocí služby ČUZK CZEPOS. Uvedená metoda pomohla získat přesné souřadnice stanovisek nebo bodů orientace. Soubory měření (kampaně) se souřadnicemi X, Y, Z (formát TXT) byly potom přes MS Excel uloženy do formátu XLS a importovány do ArcGIS.

Ze souboru souřadnic bodů byl v ArcGIS softwaru vypočítán digitální model terénu ve formátu TIN a z něj byly analytickými nástroji získány potřebné informace i výstupy (profily, mapa zaplavení území, objem vody v depresích atd.).

Pro výpočet objemu povodňových vod zachycených v území i rozsah zaplavení území při určité výšce hladiny vody v území sloužil soubor nástrojů „VOLUME tools“, který umožňuje z digitálního modelu reliéfu odvodit rozsah

zaplavení území při určité výšce hladiny nebo vypočítat množství vody zachycené v určitém rezervoáru (přehrada, deprese).



Obr. 10: Ukázka rozsahu zaplavení území při určité výšce hladiny („Volume tools“ ArcGIS 9.2)

6.2.1 Analýza příčných profilů

Kapitola je zaměřena na podrobnou analýzu výškové členitosti území. Za tímto účelem bylo vymezeno a zkonstruováno 8 profilů územím. Vzdálenost jednotlivých profilů je libovolná vzhledem k co nejlepšímu zachycení tvarů reliéfu. Pro správnou orientaci je třeba uvést, že příčné profily byly sestaveny tak, že pravý údolní svah se při pohledu na graficky sestrojený model nachází vlevo, tzn. že pohlížíme na údolí proti proudu toku.

Umístění příčných profilů je znázorněno v příloze č. 2, příčné profily se nachází v příloze č. 3.

Profil 1 – Benkovský potok

Profil 1 se nachází ve střední části zájmového území nedaleko mostku přes Benkovský potok. Jedná se o příčný profil korytem Benkovského potoka a

přilehlých trvalých travních porostů na obou březích. Celková délka profilu je 31 metrů. Nejvyšší místo profilu je v nadmořské výšce 222 m a jedná se o zvýšený pravý břeh Benkovského potoka. Nejnižším místem je s nadmořskou výškou 219,3 m n. m. dno Benkovského potoka. Rozdíl mezi nejvyšším a nejnižším bodem profilu je pouze něco přes 2 metry. Podobný rozdíl maximálních a minimálních výšek nalezneme u všech zkonstruovaných profilů. Tyto výškové parametry poukazují na typický nivní reliéf s nízkou výškovou členitostí.

Tvar koryta Benkovského potoka je tvaru rozšířeného písmene V. V tomto úseku toku se jedná o protierozní opatření navezením kamenů na výsepní břeh koryta Benkovského potoka.

Profil 2 – Benkovský potok

Profil 2 se nachází ve střední části zájmového území kousek proti proudu Benkovského potoka od profilu 1. Jedná se opět o profil Benkovským potokem a přilehlých trvalých travních porostů na obou březích. I výšková členitost profilu 2 je velmi podobná profilu 1.

Za povšimnutí stojí poměrně široké koryto ve tvaru písmene U. Na levém břehu Benkovského potoka je patrné vyvýšené místo. Jedná se o antropogenní tvar (pravděpodobně zpevněnou cestu). Tento val je dnes porostlý topoly a táhne se podél levého břehu Benkovského potoka. Při povodních může tento val plnit roli hráze.

Profil 3 – Štěpánovská smuha – Benkovský potok

Profil 3 leží ve střední části zájmového území a navazuje na příjezdovou cestu od hospodářského stavení. Jedná se o druhý nejdelší profil územím. Jeho délka činí 245 m. Profil zachycuje koryto Štěpánovské smuhy, na něj navazující nivní louku, koryto Benkovského potoka, trvalý travní porost, val a část pole se zasetou obilninou. Charakteristiku koryta Štěpánovské smuhy uvedu při popisu profilu 6.

Profil 4 – Štěpánovská smuha – Benkovský potok

Profil 4 je nejdelším profilem v zájmovém území. Celková délka profilu je 262 m. Profil 4 se nachází ve střední části zájmového území v blízkosti profilu 3. Jedná se opět o příčný profil zachycující koryto Štěpánovské smuhy, nivní louku a koryto Benkovského potoka. Na profilu je patrné, že nivní louka není zcela rovná, ale je mírně zvlněná. Směrem ke korytu Štěpánovské smuhy (rovněž směrem ke korytu řeky Moravy) se pozvolna snižuje. Směrem k Benkovskému potoku se pozvolna zvyšuje.

Profil 5 – Štěpánovská smuha

Profil 5 je nejvýše položeným profilem proti proudu Štěpánovskou smuhou. Délka profilu je přibližně 22 metrů. Profil vystihuje tvar koryta Štěpánovské smuhy. Levý břeh stupňovitě vystupuje směrem k nivní louce. Je nutné zdůraznit, že koryto Štěpánovské smuhy bylo ještě v 18. století jedno z trvale průtočných ramen řeky Moravy. To se také podepsalo na tvaru koryta. I když postupem času došlo k jeho zanesení sedimenty přinášenými v období jarních povodní a opadem listí. Na podzim v roce 1996 byl proveden revitalizační zásah, který spočíval ve vybagrování sedimentů smuhy.

Profil 6 – Štěpánovská smuha

Profil 6 leží v blízkosti profilu 3 a je detailním profilem koryta Štěpánovské smuhy. Délka profilu činí 29 m. Rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky je asi 2 m.

Na obou březích koryta jsou patrné vyvýšené valy. Může se jednat o přirozené agradační valy, ale domnívám se, že jde o antropogenně vzniklé valy při revitalizaci koryta Štěpánovské smuhy bagrováním. Na pravém břehu koryta dochází k ukládání sedimentů při jarních povodních. Levý břeh vystupuje při jarních povodních jako nárazový výsepní břeh.

Profil 7 – Štěpánovská smuha

Profil 7 se nachází v blízkosti profilu 4 a je detailním profilem koryta Štěpánovské smuhy. Délka profilu je asi 30 metrů, hloubka koryta je asi 1,5 metrů.

V profilu je nápadné pozvolné klesání levého břehu. Levý břeh koryta je jesebním břehem a dochází zde k ukládání unášeného materiálu. Pravý břeh je strmější, jedná se o břeh výsepní.

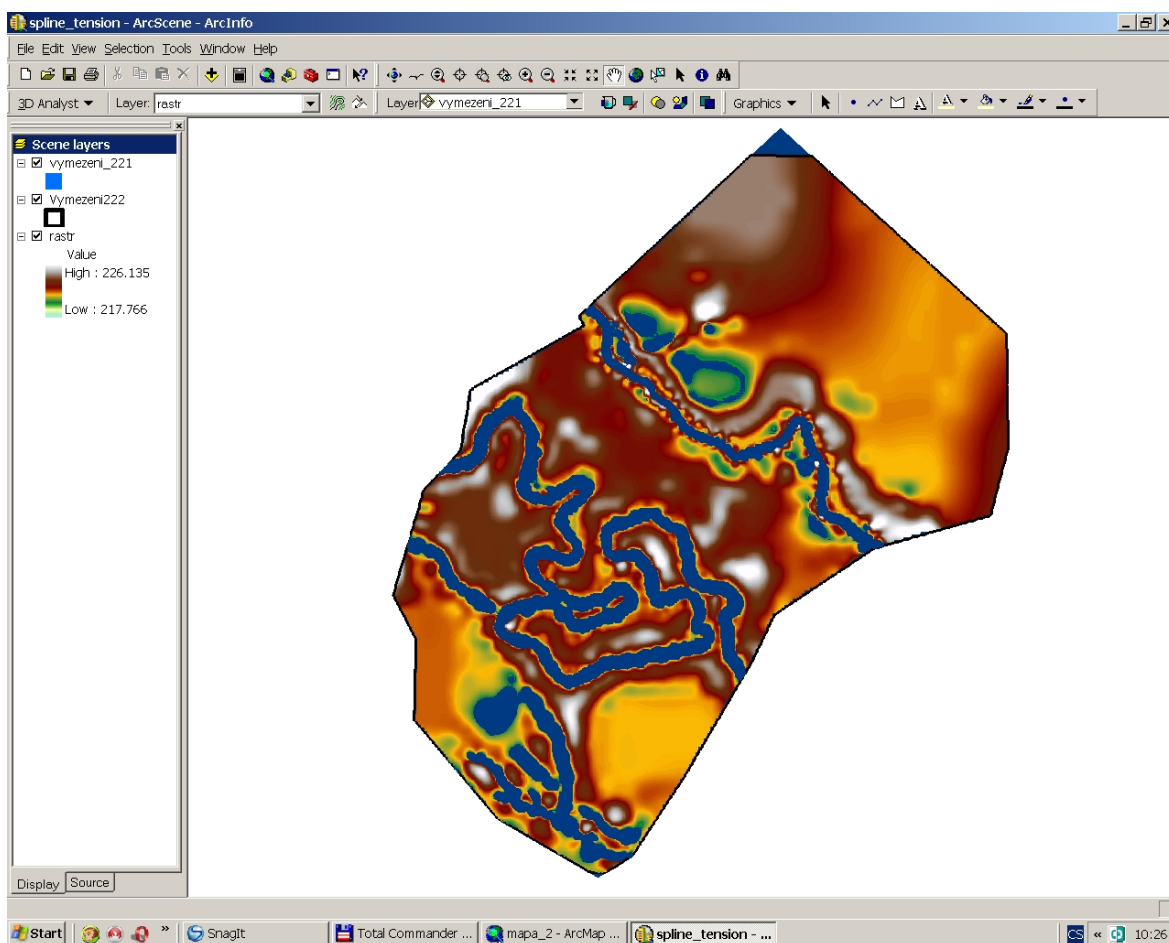
Profil 8 – Štěpánovská smuha

Profil 8 je nejnižším položeným profilem v korytě Štěpánovské smuhy. Délka profilu je asi 22 metrů, rozdíl maximální a minimální nadmořské výšky činí přibližně 2 metry. Nejnižším místem profilu je koryto Štěpánovské smuhy. Levý břeh koryta se opět vyznačuje stupňovitým stoupáním směrem k nivní louce, pravý břeh je příkrý.

Na dně koryta jsou v profilu patrné vrstvy sedimentů. Koryto Štěpánovské smuhy je lemováno zbytkem lužních lesů a je postupně zazemňováno opadem ze stromů.

6.2.2 Analýza modelu říční krajiny

Model říční krajiny, respektive digitálního modelu reliéfu v prostoru lužního lesa byl vygenerován v softwaru ArcGIS 9.2. Z naměřených terénních dat, analýz mapových podkladů bylo získáno bodové výškopisné pole. Při generování DMR byly doplněny do bodového pole další hodnoty, tak aby byla zachována co nejvěrnější podoba modelovaného terénu. Z bodového pole byl metodou interpolace vygenerován rastrový model DMR. Při generování modelu byla použita metoda „Spline s tenzí“, která nejvěrněji reprezentovala modelovaný povrch. Uvedené skutečnosti potvrzují i jiné práce (Mitášová, Mitáš (1993); Kadlčíková 2007). Vytvořeny DMR byl využit při odvození výpočtu retence i pro demonstraci rozsahu zaplavení vodou. Výsledné scénáře byly vytvořeny v ArcGIS modulu ArcScene (obr.11).



Obr. 11: Pracovní prostředí ArcScene

Pro modelování schopnosti retence povodňových vod bylo počítáno se dvěma variantami pro srovnání odlišnosti a specifik krajiny lužního lesa. První varianta byla vypočítána z měřených hodnot, které byly zahuštěny a doplněny s ohledem na morfologii terénu a co nejvěrnější zachycení skutečného stavu (obr. č. 9 v příloze č. 4).

Pro porovnání a vyhodnocení výsledků byl vygenerován ještě druhý model, který počítal s územím ovlivněným člověkem, které odpovídá typu krajiny louka, pole. V daném případě je patrné vyrovnaní terénu a omezení depresí, v terénu výrazně vystupují bariéry tvořené násypy komunikací (obr. č. 1 v příloze č. 4). Na obou modelech byly aplikovány stejné analýzy výšky zaplavení území vodou. Scénáře vyhodnocovaly úroveň zaplavení vodou ve výšce 220, 220.5, 221, 221.5, 222 m n. m. Výsledky dokumentují obrazové i číselné rozdíly v jednotlivých

prostředích i scénářích. Výpočty plochy zaplavení i objemu zadržované vody byly vypočítány pomocí nástroje 3D Analyst Volume tools (obr. č. 10 v příloze č. 4).

Scénář 1

Ve scénáři 1 je počítáno s nadmořskou výškou hladiny povodně 220 m n. m. Pro tento scénář nebyl vytvořen porovnávací model bez začlenění systému smuh, protože reliéf zájmového území nedosahuje (až na systém smuh) hodnot nižších než 220 m n. m.

Z obrázku č. 2 v příloze č. 4 je patrné, že dochází k zaplavení jen nejhlubších periodicky zaplavovaných koryt. V zájmovém území se jedná o systém Štěpánovské smuhy a také o Benkovský potok. Benkovský potok je při této modelované hladině průtočný, zatímco Štěpánovská smuha má charakter souvislé tůně v její horní a dolní části a charakter periodických tůní v části střední. Z tohoto modelu je patrná retenční schopnost Štěpánovské smuhy už při malé výšce povodňové hladiny. Objem takto zaplněných depresí je 1962,89 m³. V tabulce č. 2 jsou uvedeny parametry ploch a objemu zaplaveného území při předpokládané hladině povodňové vody 220 m n. m.

Tab. 2: Charekteristiky povodňového scénáře 1

Modelovaná výška zatopení		Modelace bez smuh	Modelace s depresemi
220 m n. m.	plocha 2D model	-	10407.06 (m ²)
	plocha 3D model	-	10557.29 (m ²)
	objem	-	1962.89 (m ³)

Scénář 2

Ve scénáři 2 je počítáno s výškou hladiny povodně 220,5 m n. m. Pro tento scénář nebyl vytvořen porovnávací model bez začlenění systému smuh, protože reliéf zájmového území nedosahuje (až na systém smuh) hodnot nižších než 220,5 m n. m.

Z obrázku č. 3 v příloze č. 4 je možné zjistit, že při zvýšení projektované vodní hladiny o 0,5 m došlo již k zaplavení systému menších smuh. Je také patrné, že Štěpánovská smuha se stala téměř průtočnou po celé délce toku. Došlo

rovněž ke zvýšení hladiny Benkovského potoka, ten se zatím nevybřežil díky poměrně hlubšímu korytu. V tomto scénáři dosahuje hodnota zadržené vody již 10992,36 m³. V tabulce č. 3 jsou uvedeny parametry ploch a objemu zaplaveného území při předpokládané hladině povodňové vody 220,5 m n. m.

Tab. 3: Charakteristiky povodňového scénáře 2

Modelovaná výška zatopení		Modelace bez smuh	Modelace s depresemi
220,5 m n. m.	plocha 2D model	-	27398.04 (m ²)
	plocha 3D model	-	27907.88 (m ²)
	objem	-	10992.36 (m ³)

Scénář 3

Ve scénáři 3 je počítáno s výškou hladiny povodně 221 m n. m. Pro tento scénář nebyl vytvořen porovnávací model bez začlenění systému smuh, protože reliéf zájmového území nedosahuje (až na systém smuh) hodnot nižších než 221 m n. m.

Ze scénáře (obr. č. 4 v příloze č. 4) je patrné, že při navýšení hladiny o dalšího půl metru, tedy na úroveň 221 m n. m. dojde téměř k úplnému naplnění periodicky zaplavovaných koryt. Dochází k propojení systému menších depresí, které byly v předchozích scénářích odděleny od zaplavených smuh suchou půdou. Z koryta Benkovského potoka dochází k pronikání vody do navazujících depresí. V tomto scénáři dosahuje hodnota zadržené vody již 31192,79 m³. V tabulce č. 4 jsou uvedeny parametry ploch a objemu zaplaveného území při předpokládané hladině povodňové vody 221 m n. m.

Tab. 4: Charakteristiky scénáře 3

Modelovaná výška zatopení		Modelace bez smuh	Modelace s depresemi
221 m n. m.	plocha 2D model	-	57262.78 (m ²)
	plocha 3D model	-	58183.79 (m ²)
	objem	-	31192.79 (m ³)

Scénář 4

Ve scénáři 4 je počítáno s výškou hladiny povodně 221,5 m n. m. Díky tomu, že nadmořské výšky 221,5 m dosahují nad úroveň systému smuh, tedy nad úroveň velké části zájmového území mohl být sestaven porovnávací model vyhodnocující retenci bez započítání systému periodicky zaplavovaných depresí.

Z modelu kalkulujícím se systémem smuh (obr č. 5 v příloze č. 4) je patrný, postup povodňové vody v zaplavování jednotlivých depresí. Došlo již k vyčerpání maximální kapacity periodicky zaplavovaných koryt i Benkovského potoka. Z těchto koryt postupně dochází k šíření povodňové vody do okolních depresí a posléze i na místa v lužním lese s nižší nadmořskou výškou. Rovněž dochází k zaplavení polí přilehlých k Benkovskému potoku. Celkový objem povodňové vody zadržené těmito depresemi je 99169.14 m³. Což je v porovnání s modelem kalkulujícím bez systému smuh (tedy využití krajiny jako louky) třikrát více.

Jak ukazuje obrázek č. 6 v příloze č. 4 (jedná se o model bez kalkulace se systémem depresí) dochází k zatopení dvou velkých ploch na opačných stranách modelu. Jižnější plocha je zásobována vodou z řeky Moravy, severní plocha je naplňována z Benkovského potoka. V tabulce č. 5 uvádím charakteristiky plochy a objemu scénáře 4.

Tab. 5: Charakteristiky scénáře 4

Modelovaná výška zatopení		Modelace bez smuh	Modelace s depresemi
221,5 m n. m.	plocha 2D model	239590.04 (m ²)	285624.13 (m ²)
	plocha 3D model	239591.14 (m ²)	286817.84 (m ²)
	objem	31343.51 (m ³)	99169.14 (m ³)

Scénář 5

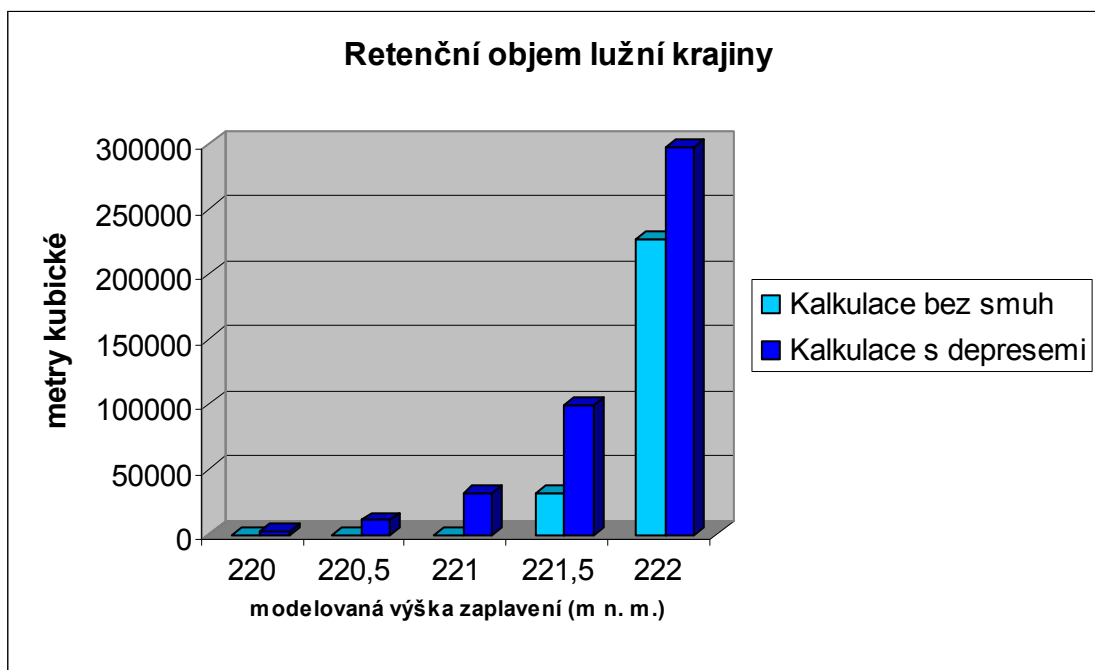
Ve scénáři 5 je počítáno s výškou hladiny povodně 222 m n. m. Díky tomu, že nadmořské výšky 222 m dosahují nad úroveň systému smuh, tedy nad úroveň prakticky celého zájmového území mohl být sestaven porovnávací model vyhodnocující retenci bez započítání systému periodicky zaplavovaných depresí.

V obou modelech nalézáme pouze několik míst v zájmovém území, která nejsou zaplavená. Jedná se především o val podél Benkovského potoka, který byl však postupující vodou na porušených místech valu překonán v předchozích scénářích. Dále nejsou zaplaveny nejvyšší části lužního lesa, vzniklé pravděpodobně usazením unášeného materiálu při předchozích povodních a vyvýšené tvary reliéfu díky kořenovému systému stromů. Z tabulky č. 6 je patrné, že rozdíl objemu zadržené vody v modelaci s depresemi a v modelaci bez smuh už není tak vysoký. Z toho vyplývá, že nejvýznamnější je z hlediska jímání povodňových odprávků právě systém periodicky zaplavovaných koryt (smuh). Ostatní menší deprese, hlavně na nivní louce a poli nejsou z tohoto hlediska tolik významné.

Tab. 6: Charakteristiky scénáře 5

Modelovaná výška zatopení		Modelace bez smuh	Modelace s depresemi
222 m n. m.	plocha 2D model	499538.04 (m ²)	484951.66 (m ²)
	plocha 3D model	499542.85 (m ²)	486267.25 (m ²)
	objem	227257.81 (m ³)	296961.33 (m ³)

Grafické znázornění objemů jímání depresemi v jednotlivých scénářích je uvedeno v grafu č. 1.



Graf 1: Retenční objem lužní krajiny jednotlivých scénářů

7 INFILTRACE PŮD

Podle směru proudění rozeznáváme tyto hlavní případy nenasyceného proudění vody v půdě: **infiltrace** (vsak), kdy voda vtéká do půdy; **redistribuce**, kdy voda stéká z převlhčené vrchní vrstvy po skončení infiltrace do spodní sušší půdy; **drenáž** půdy, kdy voda stéká z převlhčené půdy po skončení infiltrace do hladiny podzemní vody; **výpar** z půdy, kdy voda přitéká z hlubších vrstev k povrchu půdy a odtud po fázové přeměně uniká do atmosféry. (Kutílek 1978)

Rychlost vsaku závisí na několika faktorech, které výrazně ovlivňují vlastnosti půdy nebo se přímo na vsaku podílejí. Vrstva nadložního humusu má sama o sobě schopnost vázat až 20 mm srážek. Tím, že nadložní humus spolu s vegetačním krytem pohlcuje sílu úderu dešťových kapek, zabraňuje rozrušení půdní struktury a tvorbě povrchové krusty s malou propustností. To se děje na volných místech po silných deštích, krusta se však po deštích nerozpadá a při dalších srážkách se stav ještě zhoršuje. Humus zkvalitňuje strukturu půdy, zdrsňuje půdní povrch a brání erozi. V případech, kdy dojde k odstranění vrstvy nadložního humusu, se propustnost pro vodu výrazně zhorší. (Binder 1970)

Jedním z faktorů, které pomáhají průniku vody do hlouběji položených vrstev, jsou póry a chodby různého původu. Voda proniká podél živých kořenů a chodbami po odumřelých kořenech. Navíc kořeny zpevňují půdu a zabraňují erozi. Podobně zooedafon (půdní fauna) svojí činností provzdušňuje půdní horizonty, a tím vytváří retenční prostor, takže voda je chodbami odváděna do hlubších vrstev půdního profilu.

Jestliže je k povrchu půdy přiváděna voda právě takovou rychlostí, jakou se vsakuje, zjišťujeme maximální hodnotu rychlosti infiltrace, nazývanou též vsakovací schopnost. (Kutílek, 1978)

Skutečnou míru infiltrace za určitý čas udává **intenzita infiltrace**. Celkové množství infiltrované vody se označuje jako **kumulativní infiltrace**.

Pro zjišťování infiltrace půd jsem zvolil měření dvouválcovým infiltrometrem. Zjišťování infiltrace probíhalo v dubnu 2008. Lokality byly vybrány po konzultaci s vedoucím diplomové práce. Simultánně byly prováděny tři měření na louce v blízkosti Štěpánovské smuhy. Další tři měření se prováděly v lužním

lese nedaleko koryta řeky Moravy. Zároveň byly při zjišťování infiltrace do půdy odebrány půdní vzorky pro pozdější zrnitostní analýzy.

Průběh potenciální intenzity infiltrace v čase charakterizuje vsakovací křivka. Tvar této křivky byl navržen například Hortonem, Kostřakovem či Mezencevem. Parametry křivky se zjišťují experimentálně, používá se metoda dvou soustředných válců.

7.1 Popis dvouválcového infiltrometru, jeho instalace a metodika měření infiltrace

V této kapitole se budu věnovat popisu jednotlivých částí dvouválcového infiltrometru, jeho instalaci do půdy a samotné metodice měření s dvouválcovým infiltrometrem.

7.1.1 Popis jednotlivých částí dvouválcového infiltrometru

Sada dvouválcového infiltrometru se skládá ze třech párů vnitřních a vnějších válců, zatlukacího kříže, gumového kladiva, měřicí tyčinku s plovákem. Během měření jsem používal válce s průměry 28/53 cm, 30/55 cm a 32/57cm.

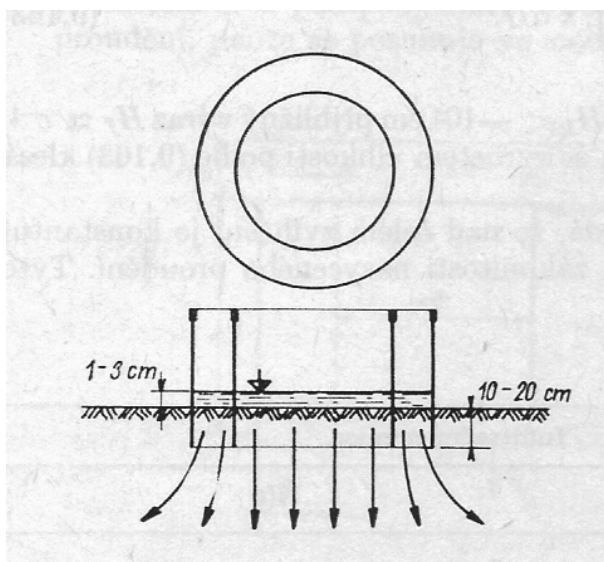
Autoři Štibinger, Jičínský a Horáček (1998) uvádějí ve svém díle minimální průměry vnějších válců u soustředných infiltrometrů pro: písčité půdy 50-60 cm, pro hlinité půdy 80-100 cm a pro těžké půdy 100 cm a větší.

Výška válců je 25 cm, na spodní straně jsou válce opatřeny ostrou hranou pro usnadnění zatlukání do půdy.

Autoři Štibinger, Jičínský a Horáček (1998) uvádějí ve svém díle minimální hloubku zaražení válců do půdy 10 – 20 cm. Tuto hloubku jsem se snažil dodržovat při terénním měření.

Podle příručky pro měření infiltrace dvouválcovou metodou je doporučená hloubka zatlukání válců do půdy 5 cm. (www.eijkelkamp.com)

Vnější válec hraje důležitou roli v zabránění unikání vody ze středního válce do stran (viz obr. č. 12).



Obr. 12: Směr vsakování vody v dvouválcovém infiltrometru dle Kutílka (1978)

Měřicí tyčinka je pomocí umělohmotného mostku a tubu upevněna ve středu vnitřního válce. Na měřicí tyčince je milimetrová stupnice, na které zjišťujeme množství infiltrované vody. Válce jsou vpraveny do půdy pomocí zatloukacího kříže a kladiva. Sada dále obsahuje vytahovací háky pro vyzdvižení válců z půdy a stopky k měření intervalu mezi vsakováním vody do půdy. Jednotlivé části dvouválcového infiltrometru jsou zobrazeny na obr. č. 13.



Obr. 13: Jednotlivé části dvouválcového infiltrometru (www.eijkelkamp.com)

7.1.2 Instalace dvouválcového infiltrometru

Vnější a vnitřní válec infiltrometru umístíme soustředně na povrch půdy. Ujistíme se, že jsme z povrchu půdy předtím odstranili malé překážky jako např. kameny, větve. Dáváme si při umísťování válců také pozor na kořenový systém rostlin (zvláště stromů a keřů) a chodby zvířat (jako např. chodby krtek obecného, hraboše polního), které by mohly ovlivnit naše měření. K zapravení válců do půdy použijeme zatloukací kříž a kladivo. Válce zapravíme do půdy minimálně 5 cm. (www.eijkelkamp.com)

Jak ale uvádí Štibinger, Jičínský a Horáček (1998) je optimální hloubka zapravení válců infiltrometru minimálně 10 – 20 cm. Čím hlouběji budou válce v půdě, tím méně bude docházet k únikům infiltrované vody do stran.

Dbáme na to, aby zapravené válce byly umístěny v půdě vodorovně, k ověření této skutečnosti nám poslouží libela. Na vnitřní válec umístíme umělohmotný mostek a měřicí tyčinku s plovákem. Takto nainstalovaný dvouválcový infiltrometr je připraven k měření. Pro kontrolu naměřených dat provedeme instalaci dalších dvou dvouválcových infiltrometrů ve vzdálenosti přibližně 2-10 metrů od prvního.

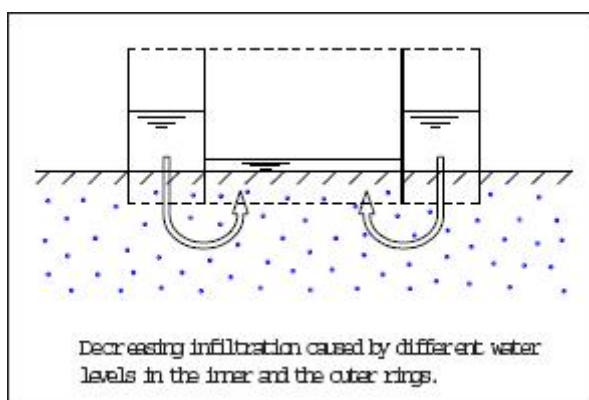
Je důležité si uvědomit, že k provádění tohoto experimentu je zapotřebí velké množství vody. Je proto lepší umístit infiltrometry nedaleko vodního zdroje (v našem případě zavodněná smuha či koryto řek Moravy) nebo mít připravenou cisternu s vodou. V obou měřeních, které jsem prováděl v zájmovém území bylo spotřebováno 1000-1500 litrů vody.

Při měření dodržujeme následující zásady. Hladina vody ve válcích by měla být co nejnižší k zajištění vertikální infiltrace. Válce se nesmějí ocitnout bez vody. Je doporučeno doplňovat 5-10 cm. K ochranění povrchu uvnitř válců před narušením díky plnění vodou můžeme použít např. plastovou fólii, vrstvu písku nebo můžeme nalévat proud vody přes dlaň ruky. Je třeba si zajistit dostatečné množství vody k naplnění infiltrometru, aby nedošlo k jeho vyschnutí.

7.1.3 Metodika měření dvouválcovým infiltrometrem

Na počátku měření naplníme vnější válec do výšky 5-10 cm vodou. Poté naplníme i vnitřní válec do stejné úrovně a zaznamenáme hodnotu v mm na měřící tyčince a čas. Všechny údaje zapisujeme do předem připravené tabulky (viz příloha č. 1). Po celou dobu experimentu dbáme na to, aby úroveň vodní hladiny ve vnitřním a vnějším válci byla stejná. Při vyšší úrovni vodní hladiny ve vnějším válci by docházelo ke snížení míry infiltrace ve vnitřním válci, jak ukazuje obrázek č. 14. V opačném případě by došlo ke zvýšení infiltrace vlivem bočního vsaku vody.

Postup doplňování vody opakujeme dokud míra infiltrace nedosáhne konstantní hodnoty (nebo se jí alespoň blíží). Změnu menší než 10 % lze pokládat za konstantní míru infiltrace. Toto může podle druhu půdy trvat 1-2 hodiny, ale jak uvádí Štibinger, Jičínský, Horáček (1998) i několik dní. Při delších měřeních zakrýváme válce, aby nedocházelo k výparu.



Obr. 14: Snížená infiltrace v důsledku rozdílných úrovní vodních hladin ve vnitřním a vnějším válci (www.eijkelkamp.com)

7.2 Výsledky měření dvouválcovým infiltrometrem

V této kapitole uvádím výsledky měření infiltrace dvouválcovým infiltrometrem. Experiment byl proveden na dvou stanovištích. První pokus byl proveden na louce poblíž Štěpánovské smuhy, druhý pak v lužním lese poblíž koryta řeky Moravy. Na obou stanovištích (na louce i v lužním lese) byly také odebrány vzorky půdy pro analýzu zrnitostního složení. Metodika odběru půdy je popsána v další kapitole.

Rovněž v této kapitole uvádím srovnání různých biotopů na základě nastudované literatury. Z hlediska schopností vsakování a retence povodňových vod srovnávám ornou půdu, trvalé travní porosty a lužní les.

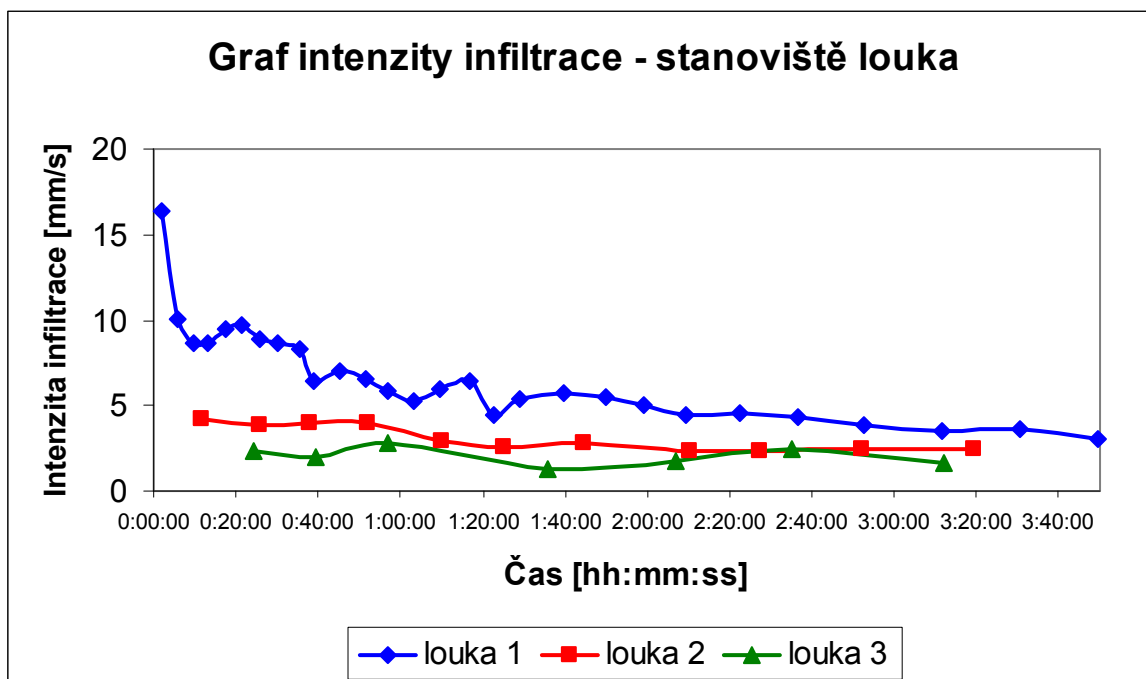
Proces infiltrace popisují Richardsovy rovnice, které byly odvozeny z fyzikálních zákonů pro proudění vody v nenasyceném půdním prostředí (Darcy-Buckinghamův zákon a rovnice kontinuity). Kromě numerických řešení Richardsových rovnic existují zjednodušená analytická řešení. Jedním z nich je rovnice infiltrační křivky odvozená Philipem, jejímiž parametry jsou sorptivita půdy a konečná hodnota potenciální infiltrace.

Zápisové tabulky jsou uvedeny v příloze č. 1.

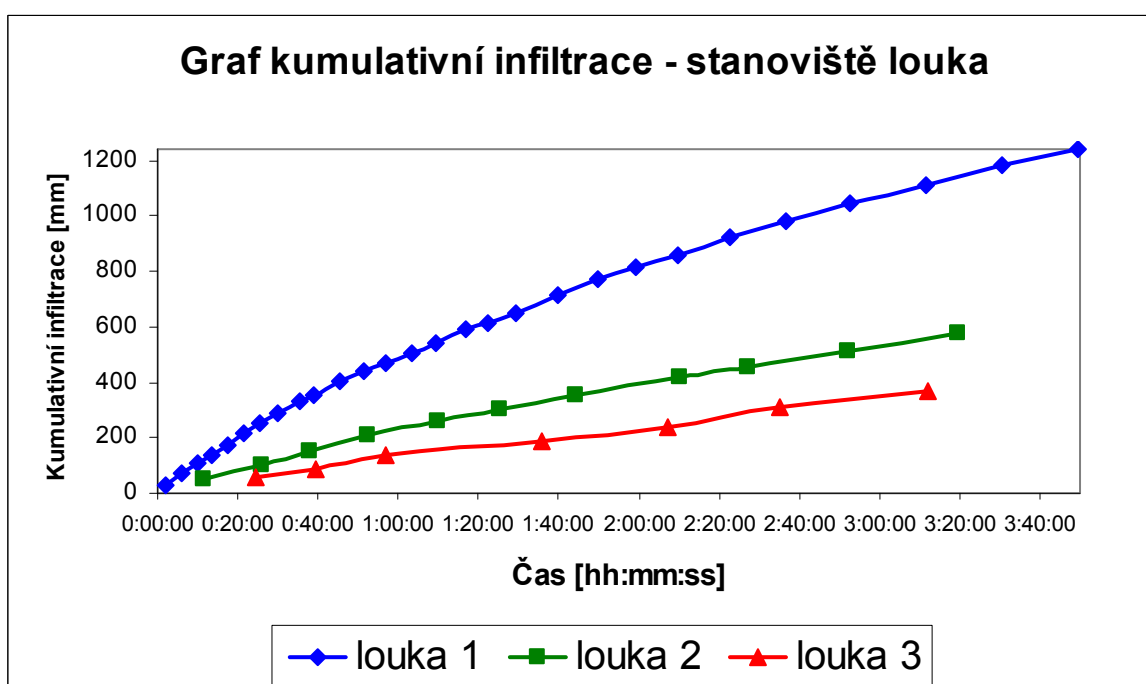
7.2.1 Infiltrace v nivní louce

Výrazně lepší vlastnosti než orná půda mají trvalé travní porosty. Na rozdíl od vlivu srážky na holou půdu tlumí souvislý travní porost kinetickou energii dešťových kapek a zdrsňuje povrch, takže zpomaluje odtok a zlepšuje vsak. Trvalé travní porosty jsou většinou využívány dvěma způsoby: jako pastvina nebo louka ke kosení. Způsob využití má vliv na jejich hydrologické vlastnosti. Také zde se podobně jako na orné půdě vlivem používané mechanizace vytváří utužená vrstva, hůře propustná pro vodu. Absencí stromů nedochází k odvodu vody do hlubších vrstev podél kořenů.

Travní porosty tedy obecně vykazují lepší vsakovací parametry než orná půda, avšak obvykle horší než lesní porost. Významnou roli v tomto srovnání však hraje typ travního porostu (od degradované pastviny po luční porost na propustném podloží) a na druhou stranu typ lesa.



Graf 2: Graf intenzity infiltrace srovnávající 3 měření na stanovišti louka (1. 4. 2008)



Graf 3: Graf kumulativní infiltrace srovnávající 3 měření na stanovišti louka (1. 4. 2008)

Díky studiu literatury, která se zabývá infiltrací na různých biotopech jsem na louce předpokládal nižší intenzitu infiltrace i celkové množství infiltrované vody než v lužním lese. V prvním měření na nivní louce (označené v grafech č. 2 a 3 jako louka 1) došlo ke zvýšené intenzitě infiltrace i celkovému množství infiltrované vody než ve zbylých dvou měřeních na nivní louce (označené v grafech jako louka

2 a louka 3). Zvýšená infiltrace byla pravděpodobně způsobena větším počtem preferenčních cest pro vodu – jedná se především o chodby půdní fauny. Intenzita infiltrace v čase klesá a to u všech měření. Závěrečná hodnota kumulativní infiltrace byla 1237 mm (louka 1), 578 mm (louka 2) a 370 mm (louka 3). Sníženou intenzitu (rychlost) infiltrace a snížené hodnoty kumulativní infiltrace v měření louka 2 a louka 3 si vysvětlují zvýšeným obsahem jílovitých částic v půdě eventuálně zhutněním půdy těžkou zemědělskou technikou.

Pro měření louka 2 jsem vypočítal také celkovou hodnotu infiltrované vody a vztáhl jsem jí k časovému intervalu 1 hodina. Objem infiltrované vody dosáhl hodnoty 35,59 l za dobu 3h 19 min a 20 s. Rychlost infiltrace vypočítaná z této hodnoty dosáhla pro interval 1 hodina asi 10,7 l/hod.

7.2.2 Infiltrace v lužním lese

O účinku lesa na odtokové poměry se v současné době vede diskuze. Na malých experimentálních povodních bylo prokázáno, že lesy mají mimořádnou schopnost zadržovat srážkovou vodu. Voda ze srážek se hromadí na povrchu lesních porostů, v nadložní půdní pokrývce a zejména půdě. Retenční schopnost lesa může být různá, závisí na geomorfologii terénu druhové a porostní skladbě porostu, způsobech hospodaření a zejména na vlastnostech půdy. Všechny tyto faktory se kvantitativně ovlivňují.

Vodu v lese zadržují účinky intercepce dřevinného a bylinného patra, nadložní humus a vsak (infiltrace) do půdy. Právě působení na půdu je z hlediska retence nejdůležitější vlastností lesa. Intercepce při povodňových srážkách prakticky ztrácí účinek. Sice přispívá ke snížení množství odtékající vody, ale vzhledem k množství, které se takto zachycuje, nemá větší vliv na průběh povodňových stavů.

Dle Válka (1977) je pro účinnost jednotlivých dřevin nejpodstatnějším faktorem kořenový systém. Jeho tvar, hloubka prokořenění a další parametry zásadně ovlivňují retenční kapacitu půdy a parametry vsaku. Srovnání hloubky prokořenění různých druhů dřevin je uvedeno v tabulce č. 7.

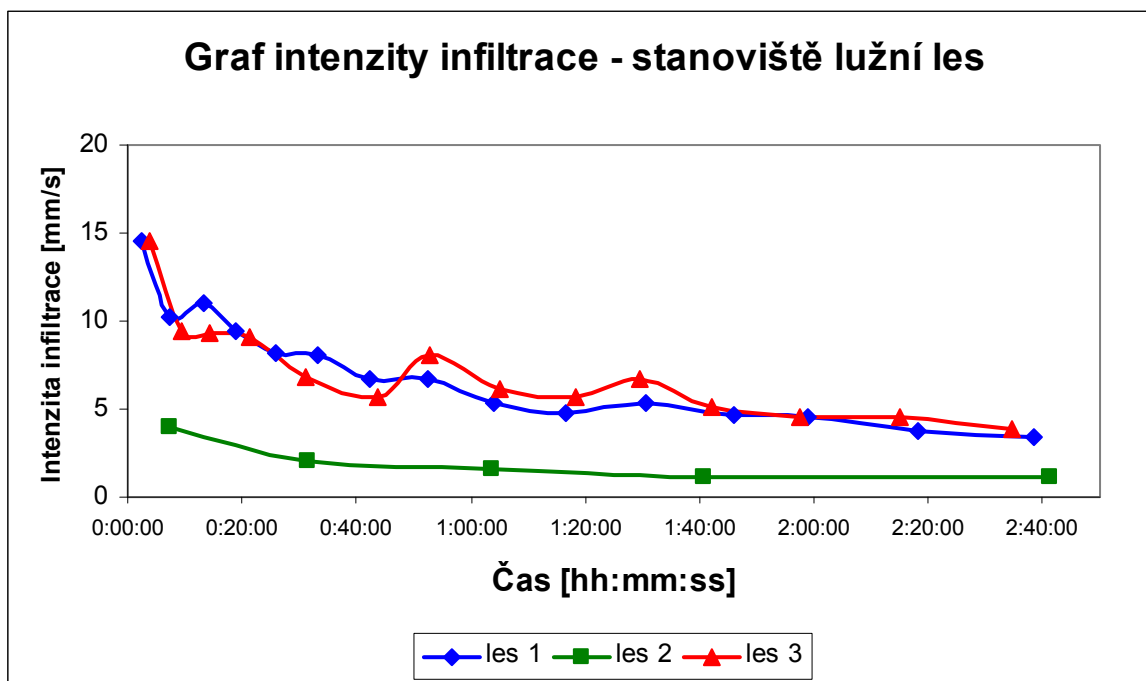
Tab. 7: Hloubka prokořenění různých druhů dřevin (Válek 1977)

Hloubka kořenů	Druh stromu
do 30 cm	osika, smrk
do 100 cm	babyka, bříza, habr, javor mléč, jeřáb, olše, střecha, topoly, vrby
přes 100 cm	buk, dub, jasan, jilmy, jírovec, javor klen, lípa, borovice, jedle, modřín

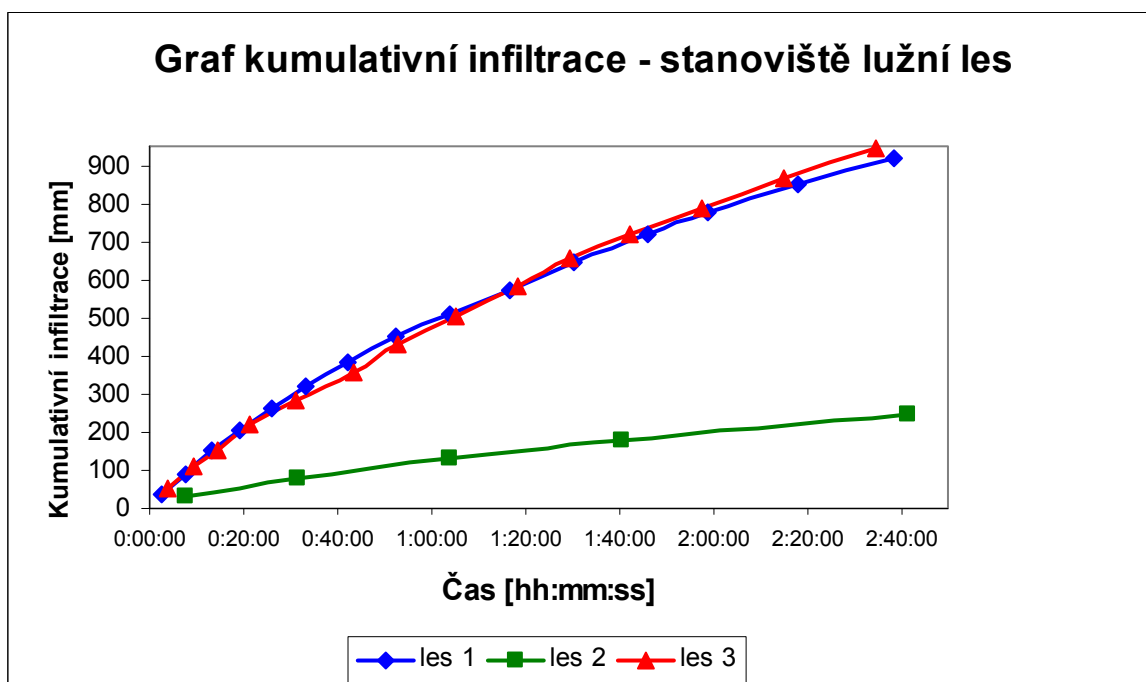
Obecně lze říci, že hlubokokořenící dřeviny, jako je buk, mají ve srovnání se smrkem výrazně lepší vliv na vsak vody do půdy, a tedy i na odtokové podmínky během povodní. Nejpodstatnějším faktorem se jeví kvalita kořenového systému a jeho vliv na kvalitu (pórovitost) půdy. Nelze přehlížet ani vliv opadu zejména na lesní zooedafon, který retenční kapacitu rovněž ovlivňuje.

Půdní organismy jsou pro strukturu půdy a její vodozadržnost také velmi významné. V lesích s vyváženou druhovou skladbou, a tedy i s vhodným složením půdy a humusem, je velké množství makropórů tvořených makroedafonem (žížalami). Žížaly po sobě zanechávají také vertikální póry, nazývané pedohydatody. Pedohydatodou po jedné žížale o průměru pět a půl milimetru může denně protéci 1,55 až 2,33 m³ vody. Uvážíme-li množství žížal na každém hektaru zdravého lesa, je zřejmé, že jejich podíl na vodozadržné schopnosti půd a eliminaci povrchového odtoku je velký.

Použití lesní mechanizace poškozuje půdu a její schopnost zadržovat vodu především vinou: tlaku těžkých strojů na půdu (zhutnění, snížení pórovitosti) a rozrušováním půdy pohybem těžkých strojů (vznik erozních rýh). Na porušení struktury půdy má vliv také obnažení pole během zimního období. Zatímco lesní půda, či půda nivních luk je pokryta opadem či seschlou vegetací, bývá orná půda obnažená.



Graf 4: Graf intenzity infiltrace srovnávající 3 měření na stanovišti lužní les (4. 4. 2008)



Graf 5: Graf kumulativní infiltrace srovnávající 3 měření na stanovišti lužní les (4. 4. 2008)

Při terénním experimentu infiltrace do půdy v lužním lese byly opět provedeny tři měření (v grafech označované jako les 1, les 2 a les 3). Jak je patrné z grafů č. 4 a 5 jsou výsledky měření les 2 výrazně odlišné od měření les 1 a les 3. Výsledky se liší jak v intenzitě infiltrace, tak i v hodnotách kumulativní infiltrace.

Tato odlišnost – celková hodnota kumulativní infiltrace byla 919 mm (les 1), 248 mm (les 2) a 945 mm (les 3) je způsobena pravděpodobně zhutněním půdy technikou pro těžbu dřeva. Možný je také zvýšený výskyt jílovitých částic v půdě.

Pro měření les 1 (zvolil jsem si ho na základě stejného průměru středního válce jako v případě měření louka 2) jsem vypočítal také celkovou hodnotu infiltrované vody do půdy a vztáhl jsem ji k časovému intervalu 1 hodina. Objem infiltrované vody dosáhl hodnoty 56,59 l za dobu 2h 38 min a 36 s. Intenzita infiltrace vypočítaná z této hodnoty dosáhla pro interval 1 hodina asi 21,3 l/hod.

7.2.3 Infiltrace orné půdy

Zemědělské pozemky se většinou nacházejí na místech, kde půda dosahuje větších hloubek. Tím má předpoklady k relativně velké retenční schopnosti. Retenční schopnost půdy na zemědělských plochách snižují různé vlivy, které souvisejí s hospodářskou činností nebo jsou jejím nepřímým důsledkem. Díky zmenšené pokryvnosti rostlinného porostu dochází při netlumeném nárazu dešťových kapek k rozpadu drobovité struktury půdy, zanášení pórů a tvorbě povrchové kůry s malou propustností. Proto je při relativně krátkém dešti horní vrstva rozbahněna a velmi rychle nastává téměř stoprocentní povrchový odtok.

V letním období, kdy dochází k maximálním srážkám, je půda vlivem provozu zemědělské mechanizace značně slehlá či zhutnělá. Vznikají rýhy po strojích, které zapříčiňují urychlený povrchový odtok. Ten pak způsobuje rozsáhlou erozi. Následně dochází k degradaci půd a snížení kvality z hlediska zemědělské užitnosti pro pěstování plodin, ale také zmenšení retenčních schopností.

Pokud voda při srážce pronikne vrchní kyprou vrstvou půdy, může se jí postavit do cesty další překážka. V důsledku pravidelného mechanizovaného obdělávání půdy se často v hloubce 30 – 60 cm vytváří utužená vrstva podorniční. Tato je mnohdy téměř nepropustná, nebo propouští vodu jen málo. Účinná hloubka půdy a s ní také retenční kapacita se tak značně zmenšuje.

Zjišťování hodnot na biotopu orné půdy nebylo experimentálně zjišťováno. Rychlost a kapacitu infiltrace by měly díky antropogenním vlivům dosahovat nižších hodnot.

7.3 Odběr půdních vzorků pro analýzu zrnitosti

Pro upřesnění výsledků měření infiltrace byl proveden rovněž odběr půdy na stanovištích v lužním lese a louce. Vzorky byly odebrány pomocí ručního vrtáku a uloženy do plastového tubu. Použité nástroje a proces odběru jsou znázorněny na obrázcích č. 15 a 16. Vzorky byly poté podrobeny analýze na zrnitostní složení.



Obr. 15: Nástroje použité k odběru půdních vzorků ze stanoviště v lužním lese (foto: J. Zelinka, duben 2008)



Obr. 16: Odběr půdních vzorků ze stanoviště v lužním lese (foto: A. Létal, duben 2008)

8 RETENCE POVODŇOVÝCH VOD V LUŽNÍM LESE

V této kapitole se pokusím objasnit jakou roli hrají při povodních ekosystémy lužních lesů, přilehlé trvalé travní porosty a jim podobné přírodě blízké ekosystémy.

8.1 Úvod do problematiky

O retenci (schopnosti zadržování) vody v krajině se mluví nejčastěji v souvislosti s povodněmi. Hlavní vlna diskuzí se rozpoutala po povodních v r. 1997. Diskuze probíhala hlavně mezi vodohospodáři a nejrůznějšími ekologickými organizacemi. Jedna strana obhajovala vodní nádrže a regulaci jednotlivých vodních toků v povodí, strana druhá zase inundační zóny v nivní krajině řeky Moravy a revitalizaci stávajících břehových porostů.

Jako **povodeň** je označován jev přechodného zvýšení hladiny vody v toku nad úroveň přirozených břehů, způsobené náhlým zvýšením průtoku nebo dočasným zmenšením průtočnosti koryta.

Velikost povodně závisí na řadě činitelů, které vzájemně spolupůsobí. Parametry a důsledky povodně tedy závisí na: velikosti srážky, vlastnostech povodí (zejména retenční schopnost) a kapacitě koryta. Velikost srážky závisí na momentální meteorologické situaci. Nadměrné srážkové úhrny jsou příčinou vzniku povodňových situací. Běžně se na našem území vyskytují srážky 440 – 1300 mm ročně. Denní průměrný úhrn tak činí 1,2 až 3,6 mm. Při povodních v roce 1997 napršelo v období od 4. do 8. července až 586 mm vody (Lysá hora). (www.chmu.cz)

Faktory ovlivňující povodeň jsou zejména počasí, intercepce (zachycení srážek vegetačním krytem – porovnání různých typů porostů v tabulce č. 8), vsak (infiltrace), a povrchový odtok. Voda, která dopadne na půdní povrch se buď vsákne, nebo odteče. Tím, že se voda vsákne do půdy, je dočasně vyloučena z odtoku a jen malá část zasáhne do povodňové vlny.

Pro samotný vsak jsou důležité dva faktory: intenzita rychlosti vsaku a retenční kapacita půdy. U intenzity (rychlosti) vsaku může dojít ke dvěma situacím: 1) rychlost vsaku je větší než intenzita srážky, nebo je stejná. Veškerá voda se potom vsakuje a nezasahuje do povrchového odtoku; 2) rychlost vsaku je menší než intenzita srážky. Voda se dává do pohybu po povrchu půdy.

Tab. 8: Intercepce různých druhů porostů (Krešl 1999)

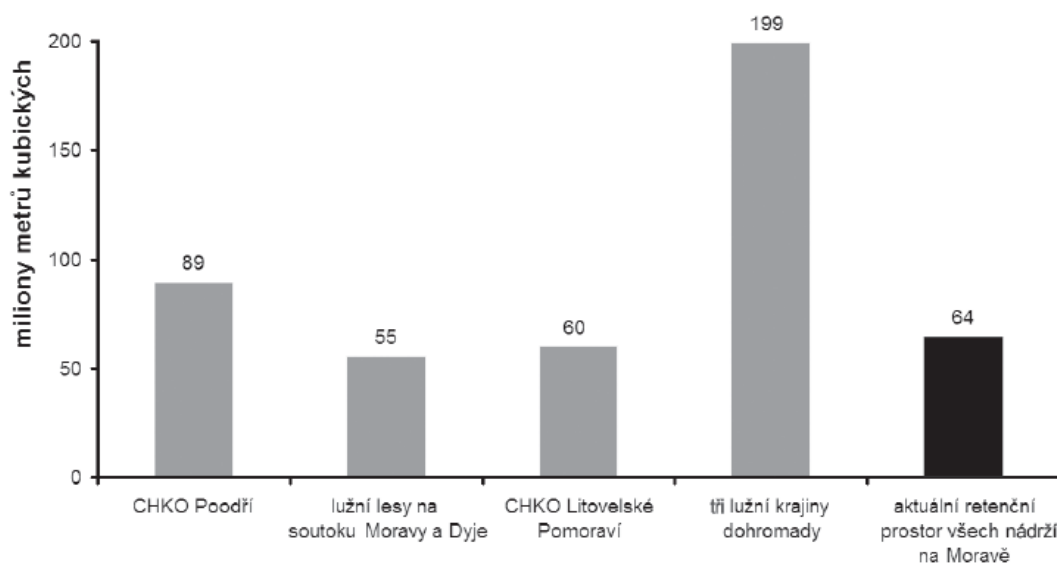
Porost	Velikost intercepce (mm zachycených srážek)
smrkový porost 60 let	5,1
bukový porost 60 let	3,5
borový porost 60 let	3,0
bika hajní	2,9
ostružiník	2,6
borůvka	1,2

Voda, která není zachycena vegetačním krytem ani se nevsákne do půdy, je po vyplnění depresí v terénu odvedena jako povrchový odtok. Rychlost povrchového odtoku je pak závislá na sklonu terénu a drsnosti terénu. Drsnost terénu zvyšují především mikrotvary reliéfu a vegetace. Z hlediska lužního lesa je velmi významný kořenový systém stromů a mrtvá dřevní hmota.

Z hlediska povodňové ochrany je třeba pohlížet na nivu samostatně, jako ne fenomén těsně svázaný s vodním tokem. Opatření uplatněná v nivě patří mezi ta nejúčinnější, často výrazně přesahující účinky mohutných vodohospodářských staveb.

Podle kalkulace Hnutí DUHA zachytily poslední tři komplexy lužních lesů, luk a mokřadů při povodni v roce 1997 více vody než všechny přehrady v povodí Moravy a Odry dohromady (obr č. 17).

Při velké moravské povodni v roce 1997 zachytily poslední tři komplexy lužních lesů, luk a mokřadů více vody než všechny přehrady v povodí Moravy a Odry dohromady.



Obr. 17: Množství zadržené povodňové vody v roce 1997 (zdroj: kalkulace Hnutí DUHA)

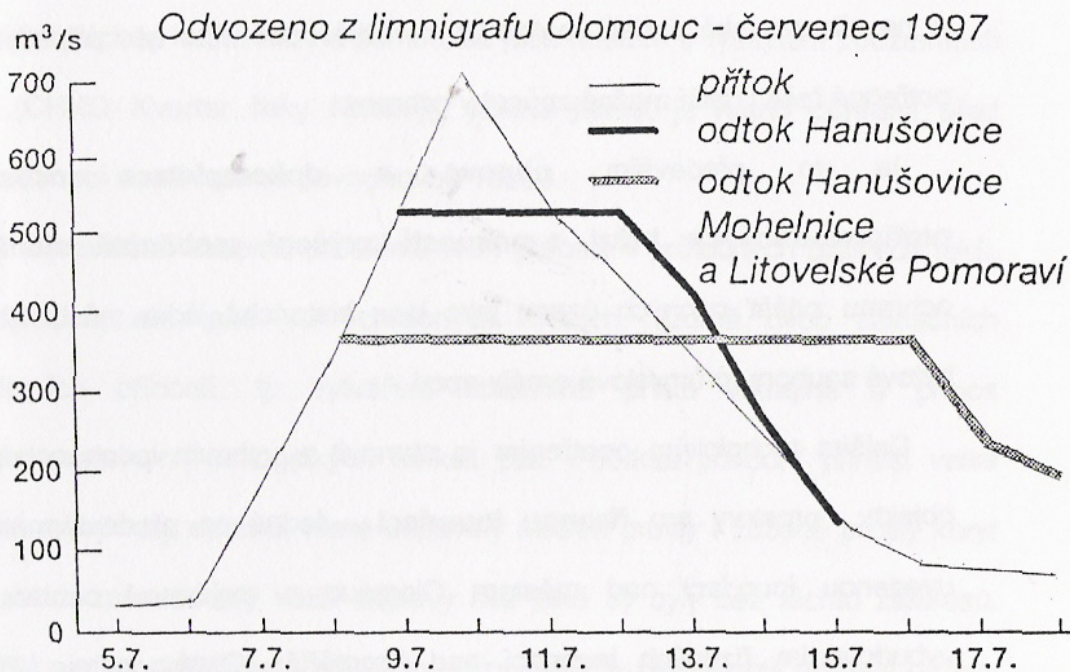
Jarní povodňové rozlivy jsou přirozeným fenoménem nívné krajiny. Během dvacátého století však naprostá většina našich toků schopnost přirozených rozlivů v důsledku vodohospodářských úprav (povodňových hrází a kanalizace toku) postupně ztratila.

Přirozené rozlivy mají mimořádnou retardační kapacitu. Voda se zde nezadrží trvale, ale je pozdržena po dobu několika dní až týdnů.

Dobrym příkladem uspořádání krajiny, který je v souladu s přírodními procesy a zároveň se nekříží s nároky lidské společnosti na užívání, je plochá zatravněná či zalesněná niva se silně meandrující řekou či potokem. Takový tok má obvykle jen velmi mělké koryto. Dokonce i při malé pravidelné povodni voda vytéká do nivy a pomalu zde teče souběžně s potokem. Při velké povodni pak teče většina vody nivou. Výška záplavy je nízká, protože se voda rozlévá do šíře. Čím vyvinutější je údolní niva, tím větší může být rozliv povodňové vody.

Koutný (2003) považuje za základní způsob řešení povodně červencového rozsahu (míněno povodeň v červenci 1997) uvést potřebu akumulace povodňové vlny v nádržích, poldrech a inundačních územích (s povrchem zatravněným, lépe lužních lesů). Srovnání ovlivnění povodňových průtoků z července 2007 je uvedeno v obr. č. 18).

Ovlivnění povodňových průtoků nádržemi Hanušovice, poldrem Mohelnice a řízenou inundací Litovelské Pomoraví



Obr. 18: Ovlivnění povodňových průtoků nádržemi Hanušovice, poldrem Mohelnice a řízenou inundací Litovelské Pomoraví (Koutný 2003).

8.2 Vyhodnocení retence na základě terénních měření

Z výsledku analýz vyplývá že zachovaná lužní krajina přispívá k distribuci vody do krajiny, slouží jako rezervoár vody v nižších úrovních hladiny a zvyšuje množství vody, která se do krajiny vsákne. Porovnáním hodnot vypočítaných ve scénářích je možné sledovat v tabulce č. 9. Z výsledků analýz je možné konstatovat ze lužní krajina jako přirozený rezervoár vody skutečně funguje a navíc výrazně zvyšuje schopnosti retence vody i mimo povodňové situace. Zadržetí vody v krajině je nesporně důležité pro celkovou srážkoodtokovou bilanci a pozitivně ovlivňuje místní klimatické podmínky. Od určité úrovně výšky hladiny se efekt retence vody v depresích neprojeví (velká povodeň), přesto je pořád patrná vyšší hodnota zadržené vody.

Porovnání obou příkladů pomáhá objasnit vliv terénních úprav krajiny, které byly realizovány při redukci lužního lesa na louky a pastviny a pole.

Tab. 9: Porovnání hodnot vypočítaných v jednotlivých scénářích

Modelovaná výška zatopení		Modelace bez smuh	Modelace s depresemi
220 m n. m.	plocha 2D model	-	10407.06 (m ²)
	plocha 3D model	-	10557.29 (m ²)
	objem	-	1962.89 (m ³)
220,5 m n. m.	plocha 2D model	-	27398.04 (m ²)
	plocha 3D model	-	27907.88 (m ²)
	objem	-	10992.36 (m ³)
221 m. n. m.	plocha 2D model	-	57262.78 (m ²)
	plocha 3D model	-	58183.79 (m ²)
	objem	-	31192.79 (m ³)
221,5 m n. m.	plocha 2D model	239590.04 (m ²)	285624.13 (m ²)
	plocha 3D model	239591.14 (m ²)	286817.84 (m ²)
	objem	31343.51 (m ³)	99169.14 (m ³)
222 m n. m.	plocha 2D model	499538.04 (m ²)	484951.66 (m ²)
	plocha 3D model	499542.85 (m ²)	486267.25 (m ²)
	objem	227257.81 (m ³)	296961.33 (m ³)

Ze scénářů 1-5 je patrný význam depresí v lužní krajině při funkci retence povodňové vody. V kalkulacích, ve kterých se nepočítalo se systémem periodicky zaplavovaných koryt a depresí v lužním lese, tedy v biotopech jako jsou nivní louky a zemědělská pole (obecně v typech krajin upravených činností člověka) jsou retenční objemy dosažené při různých povodňových modelech výrazně nižší. Rozdíl těchto objemů je smazáván až při vysokých vodních stavech, kdy je zaplavené celé území.

Stejně tak jako objem periodicky zaplavovaných koryt je pro retenci vody v krajině důležitá infiltrace vody do půdy. Jak potvrdily mnou zjištěné hodnoty celkového objemu vsáklé vody do půdy, vyplývající i z doložených tabulek a grafů, vykazují půdy lužního lesa větší intenzitu, tedy rychlost infiltrace vody do půdy, ale také hodnotu kumulativní infiltrace, tedy celkové množství vsáklé vody než je tomu u nivních luk.

Svůj význam při retenci vody v krajině hraje nepochybně i intercepce, tedy zachycení srážek vegetací. Nejvyšších hodnot intercepce sice dosahují smrkové

kultury, je nutné si ale uvědomit, že strom se nepodílí na retenci vody v krajině pouze intercepcí. Z komplexního hlediska vycházejí lépe dřeviny jako dub, topol, lípa, vrba, habr, olše a další, jejichž kořenový systém je rozsáhlý a usnadňuje pronikání vody do půdy. Kořenový systém smrku dosahuje maximálně hloubek 30 cm. Navíc dochází při dopadu srážek na povrch takovéto půdy (v porostu smrků) nedochází téměř k zasáknutí, ale k povrchovému odtoku.

Na základě výše uvedených faktorů hraje lužní krajina se systémem periodicky zaplavovaných depresí a na ně přilehlé trvalé travní porosty nezastupitelnou roli v retenci povodňových vod. Úbytek těchto fluviálních tvarů v krajině povede k rychlejšímu šíření povodňových vln a k menší schopnosti krajiny tyto vody pojmout.

Na závěr je nutné podotknout, že systém smuh podléhá neustálému vývoji. Při každé jarní povodni dochází k zanášení koryta naplavenými částicemi půdy, ale i jinými překážkami, ať už přírodními nebo antropogenními. Vlivem opadu vegetace také dochází k jejich zazemňování.

Zásahy člověka na korytu Moravy v minulosti (především stavba jezů a napřimování toku) způsobilo zvýšení energie vody v korytě. Díky vyšší energii dochází k rychlejšímu zahlubování koryta řeky Moravy a tím i k odstavení postranních periodicky zaplavovaných koryt. Čím níže se koryto řeky Moravy dostává, tím méně se uplatňuje role periodicky zaplavovaných koryt při povodních.

9 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo, na základě měření v terénních podmínkách, zjistit hodnotu retence na vybraných lokalitách pro různé modelové povodňové situace.

Za účelem komplexního pohledu na zájmové území byla zpracována kompletní fyzickogeografická charakteristika vztahující se k celé CHKO Litovelské Pomoraví, která pomohla vytvořit ucelený obraz zájmového území. Vzhledem k tomu, že je území součástí chráněné krajinné oblasti, byla věnována pozornost i biogeografii a ochraně přírody. Tato část diplomové práce byla zpracována na základě již publikovaných prací a mapových děl.

Zvláštní pozornost byla věnována především hydrologickým charakteristikám.

Zájmové území se vyznačuje specifickým typem říčního vzoru – tzv. anastomózou. Tento typ říčního vzoru je charakteristický širokou údolní nivou, která díky své ploše a členitosti hraje důležitou roli při zadržování povodňových vod. V zájmovém území se jedná především o Štěpánovskou smuhu a na ni napojené systémy menších depresí.

Hlavní část práce je věnována terénnímu výzkumu, který probíhal na vytipovaných lokalitách CHKO Litovelské Pomoraví v období od března 2007 až do dubna 2008. Při realizaci terénního výzkumu bylo využíváno totální stanice a diferenční GPS. Bylo rovněž prováděno měření infiltrace půd na stanovištích nivní louky a lužního lesa. Při zjišťování infiltrace půd byly rovněž odebrány vzorky půdy pro zjištění zrnitosti. Výsledky půdních analýz nebylo možné v termínu odevzdání dostat, proto byly dosazeny hodnoty platné pro daný typ prostředí.

Hlavním výstupem diplomové práce je model reliéfu lužní krajiny se zaměřením na systém depresí, především periodicky protékaných koryt označovaných místním názvem „smuhy“. Dále jsou k dispozici záznamové tabulky pro měření infiltrace vody do půdy a bohatá fotodokumentace. Fotografie dokumentují nejen typické fluviální tvary zájmového území, ale rovněž dokládají terénní výzkumy.

Diplomová práce je příspěvkem k poznání funkčnosti údolní nivy a systému periodicky zaplavovaných koryt při jarních povodních. Dílčí výsledky

byly prezentovány strážcům přírody CHKO Litovelské Pomoraví. Práce bude nabídnuta správě CHKO Litovelské Pomoraví. Diplomová práce bude jako zdroj dalších poznatků o říční krajině k dispozici široké veřejnosti se zájmem o danou problematiku.

10 SUMMARY

My thesis deals with the retention of flood plain forest for various flood situations in the studied area. The main issue of my thesis is a model of flood plain forest landscape with the accent on system of depression especially periodically flood watershed called „smuhy“ in this region.

The scale of my thesis concerns the total physical-geographical characteristic of this specific area, which belongs to the protected landscape area Litovelské Pomoraví.

My studied area is created by the specific river type called anastomosis. This river type is characterized by the wide alluvial plain. This wide alluvial plain has significant effect on the retention of flood water. There are many periodically flood depressions and watersheds in the studied area. The main system of these depressions is connected with Štěpánovská smuha.

The most significant part of my thesis is the field research that lasted since March 2007 until April 2008. The field research of the studied area contains surface measuring by the total station and the difference GPS.

Thesis has several appendices which includes a field list of infiltration measuring and profiles of this area. The photo collection contains pictures of typical fluvial shapes in studied area.

The thesis is the contribution to the research of the influence of the alluvial plain and the system of periodically flood depressions and watersheds in spring flood. The partial results were presented to nature guard management of protected landscape area Litovelské Pomoraví. It will be available also for the general public with interest in flood plain forest in this area.

11 POUŽITÁ LITERATURA

- BINDER, R. (1970): Zahrádzenie bystrín a lavín. Bratislava, Oráč.
- DEMEK, J. ed a kol. (1987): Zeměpisný lexikon ČSR – Hory a nížiny. Praha, Academia, 584 s.
- GORDON, N. D. a kol. (1992): Stream Hydrology, An Introduction for Ecologists. Cichester, John Wiley and Sons.
- HUSÁKOVÁ, T. (2006): CHKO Litovelské Pomoraví. Praha, Agentura ochrany přírody a krajiny ČR.
- KADLČÍKOVÁ, J. (2007): Testování a výběr interpolačních metod DMR v závislosti na typu georeliéfu. Geomorfologia Slovaca et Bohemica 2/2007, s 14-17.
- KIRCHNER, K., IVAN, A. (1999): Anastomózní říční systém v CHKO Litovelské Pomoraví. Geologické výzkumy na Moravě a ve Slezsku 6/1998 , s. 19-20.
- KOUTNÝ, L. (2003): Zkušenosti z povodní na Moravě. Brno, Mendlova zemědělská a lesnická univerzita, 50 s.
- KRÁLOVÁ, H. ed a kol. (2001): Řeky pro život. Brno, ZO ČSOP Veronica, 440 s.
- KREŠL, J. (1999): Vliv lesa na utváření odtoku při přívalových a dlouhotrvajících deštích, Lesnická práce – časopis pro lesnickou vědu a praxi 11/1999.
- KUTÍLEK, M. (1978): Vodohospodářská pedologie. Praha, SNTL/ALFA, 296 s.
- MÁČKA, Z. (2001): Geomorfologický posudek na revitalizační opatření na Štěpánovské smuze a smuze Hatné-Plačkov (CHKO litovelské Pomoraví). Brno, Akademie věd České republiky – Ústav Geoniky – pobočka Brno.
- MITÁŠOVÁ, H., MITÁŠ, L. (1993): Interpolation by regularized spline with tension: I. Theory and implementation. Mathematical Geology, 6/1993, s. 641-655.
- OTAVA, J., POŠMOURNÝ, K. (2007): Litovelské Pomoraví – geologie chráněných krajinných oblastí České republiky. Praha, Česká geologická služba.
- QUITT, E. (1971): Klimatické oblasti ČSR. Studia geographica 16, Geografický ústav ČSAV, Brno, 84 s.
- ŠTIBINGER, J., JIČÍNSKÝ, K., HORÁČEK, V. (1998): Metodické pokyny pro terénní stanovení koeficientu filtrace dvouválcovou metodou. Praha, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně v Ústí nad Labem, 11 s.
- VÁLEK, Z. (1977): Lesní dřeviny jako vodohospodářský a protierozní činitel. Praha, Státní zemědělské nakladatelství.

VLČEK, V. a kol. (1984): Zeměpisný lexikon ČSR – Vodní toky a nádrže. Praha, Academia, 316 s.

VOŽENÍLEK, V. (2002): Diplomové práce z geoinformatiky. Olomouc, vydavatelství Univerzity Palackého, 64 s., ISBN 8024404699.

MAPY

QUITT, E. : Klimatické oblasti ČSR, 1 : 500 000. Brno, Geografický ústav ČSAV Brno, 1975

Základní mapa ČR, list 24 – 222 Štěpánov, 1 : 25 000. Český úřad zeměměřický a katastrální, 1997

INTERNETOVÉ ZDROJE

Operating instructions – Double ring infiltrometer set [online] c2008, poslední revize 22.4.2008 [cit.2008-04-22].

<<http://www.eijkelkamp.com/Portals/2/Eijkelkamp/Files/M1-0904e%20Double%20ring%20infiltrrometer%20set.pdf>>.

Vliv hospodaření v krajině na průběh a účinek povodí: přehled problémů a doporučená opatření [online] c2008, poslední revize 24.4.2008 [cit.2008-04-24].

<http://www.hnutiduha.cz/publikace/Povodne_a_krajina.pdf>.

Role lesního hospodaření při retenci vody v české krajině [online] c2008, poslední revize 4.5.2008 [cit.2008-05-04].

<http://www.hnutiduha.cz/publikace/voda_lesni_hospodareni.pdf>.

Český hydrometeorologický ústav [online] c2008, poslední revize 24.4.2008 [cit.2008-04-24]. < <http://www.chmu.cz/>>.

Zeměměřický ústav [online] c2008, poslední revize 4.5.2008 [cit.2008-05-04].

<<http://czepos.cuzk.cz/>>.

PŘÍLOHY

SEZNAM PŘÍLOH

1. Záznamové a výpočetní tabulky pro infiltraci vody do půdy
2. Situační mapka umístění příčných profilů 1 – 8 v zájmovém území
3. Profily zájmovým územím
4. Scénáře povodňových situací zájmového území
5. Seznam fotografií
6. Fotodokumentace – měření pomocí totální stanice Trimble 5500 Standard
 - tvarová rozmanitost periodicky zaplavovaných koryt
 - měření infiltrace půd na louce a v lužním lese
 - odběr půdních vzorků pro zrnitostní analýzy
7. CD s textem DP a přílohami

Date : 1.4.2008
 Location : LOUKA 2
 Remarks : ϕ VÁLČE 28cm / 53cm

FIELD LIST VLHKOŤ PŮDY: 59%
 TEPLOTA PŮDY: 11°C

A Time Reading hour min sec	B Water level		C Cumulative time Determine from A min	D Time interval Determine from A min	E Infiltration Determine from B mm	F Infiltration capacity Calculate from D & E mm/min	G Infiltration capacity Calculate from F ..!..	H Cumulative infiltration Determine from E mm
	before filling Reading mm	after filling Reading mm						
0:00:00		193,0	start = 0					start = 0
0:11:26	197,8	193,4		0:11:26	4,8	4,2		4,8
0:14:25	199,0	193,3		0:14:25	5,6	3,9		10,4
0:18:03	198,1	192,8		0:18:03	4,8	4,0		15,2
0:37:54	198,5	192,0		0:14:19	5,7	4,0		20,9
0:52:13	197,2	192,5		0:17:43	5,2	2,9		26,1
1:09:56	196,5	192,5		0:15:23	4,0	2,6		30,1
1:25:19	197,9	192,0		0:19:09	5,1	2,8		35,5
1:44:28	198,0	194,0		0:25:53	6,0	2,3		41,5
2:10:21	197,9	192,1		0:16:59	3,9	2,3		45,4
2:27:20	198,0	192,0		0:24:45	5,9	2,4		51,3
2:52:05	198,5			0:27:15	6,5	2,4		57,8
3:19:20								



Date : 1.4.2008
 Location : LOUKA 3
 Remarks : ϕ VÁLČE 30cm / 55cm

FIELD LIST VLHKOŤ PŮDY: 51%
 TEPLOTA PŮDY: 11°C

A Time Reading hour min sec	B Water level		C Cumulative time Determine from A min	D Time interval Determine from A min	E Infiltration Determine from B mm	F Infiltration capacity Calculate from D & E mm/min	G Infiltration capacity Calculate from F ..!..	H Cumulative infiltration Determine from E mm
	before filling Reading mm	after filling Reading mm						
0:00:00		282,5	start = 0					start = 0
0:24:19	288,0	282,0		0:24:19	5,5	2,3		5,5
0:39:20	285,0	283,0		0:15:01	3,0	2,0		8,5
0:57:00	288,0	283,0		0:17:40	5,0	2,8		13,5
1:36:00	288,0	282,5		0:39:00	5,0	1,3		18,5
2:07:00	288,0	281,0		0:31:00	5,5	1,8		24,0
2:31:00	288,0	281,0		0:28:00	7,0	2,5		31,0
3:12:00	288,0			0:37:00	6,0	1,6		37,0



Date : 4.4.2008
 Location : LES 1
 Remarks : ϕ válců 28 cm / 53 cm

FIELD LIST

VLHKOST PŮDY : 57%
 TEPLOTA PŮDY : 8,6 °C

A Time Reading hour min sec	B Water level		C Cumulative time Determine from A min	D Time interval Determine from A min	E Infiltration Determine from B mm	F Infiltration capacity Calculate from D & E mm/min	G Infiltration capacity Calculate from F ... / ...	H Cumulative infiltration Determine from E mm
	before filling Reading mm	after filling Reading mm						
0:00:00		194,0	start = 0					start = 0
0:02:33	197,7	192,0		0:02:33	37	14,5		37
0:07:23	197,0	190,2		0:04:51	50	10,2		87
0:13:11	196,5	191,4		0:05:43	63	11,0		150
0:19:01	196,9	191,3		0:05:50	56	9,4		205
0:25:49	196,9	191,0		0:06:48	56	8,2		261
0:33:22	197,1	191,4		0:07:33	61	8,1		322
0:42:19	197,4	190,4		0:08:57	60	6,7		382
0:52:36	197,3	191,0		0:10:17	69	6,7		451
1:04:00	197,0	191,3		0:11:24	60	5,3		511
1:10:35	197,3	190,0		0:12:35	60	4,8		571
1:30:28	197,3	189,8		0:13:53	73	5,3		644
1:45:58	197,1	190,5		0:15:30	73	4,7		717
1:59:00	196,4	189,8		0:13:02	59	4,5		776
2:18:00	197,0	189,9		0:19:00	72	3,8		848
2:38:36	197,0			0:20:36	71	3,4		919



Date : 4.4.2008
 Location : LES 2
 Remarks : ϕ válců 32 cm / 57 cm

FIELD LIST

VLHKOST PŮDY : 57%
 TEPLOTA PŮDY : 8,6 °C

A Time Reading hour min sec	B Water level		C Cumulative time Determine from A min	D Time interval Determine from A min	E Infiltration Determine from B mm	F Infiltration capacity Calculate from D & E mm/min	G Infiltration capacity Calculate from F ... / ...	H Cumulative infiltration Determine from E mm
	before filling Reading mm	after filling Reading mm						
0:00:00		103,0	start = 0					start = 0
0:07:31	106,0	102,0		0:07:31	30	4,0		30
0:31:38	107,0	101,9		0:24:07	50	2,1		80
1:03:44	107,0	102,5		0:32:06	51	1,6		131
1:40:40	107,5	100,5		0:36:56	50	1,1		181
2:41:21	107,2			1:00:41	67	1,1		248



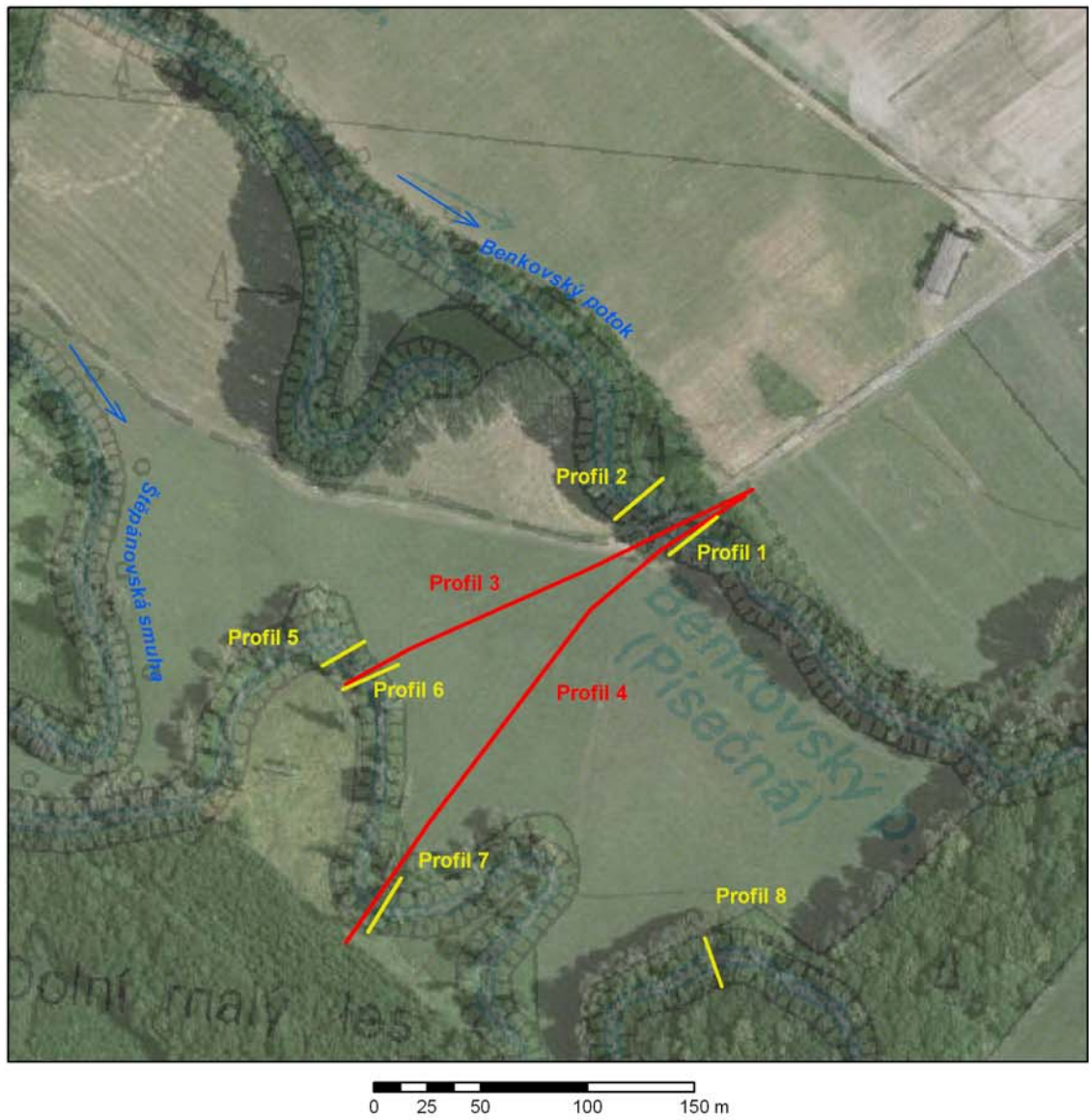
Date : 4.4.2008
 Location : LES 3
 Remarks : ϕ VALCU 30cm/55cm

FIELD LIST

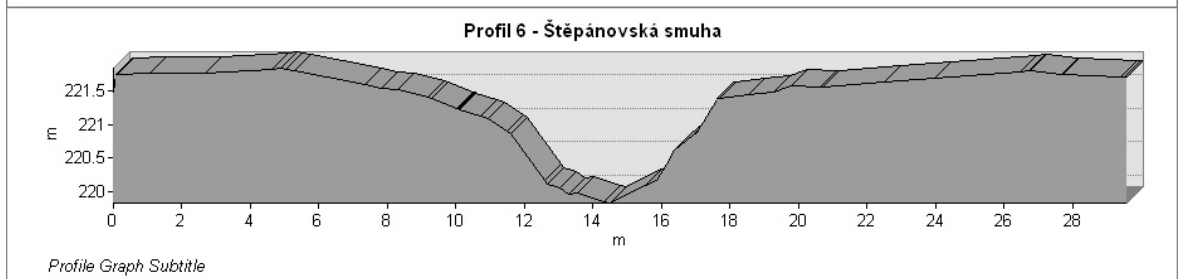
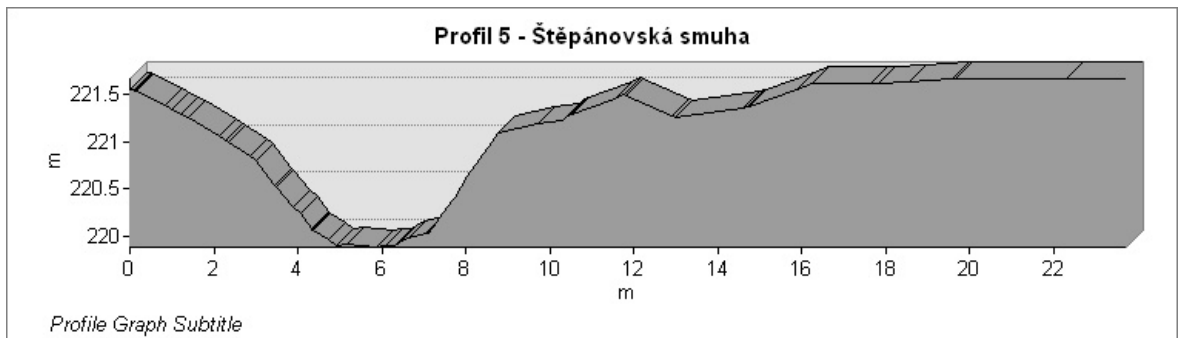
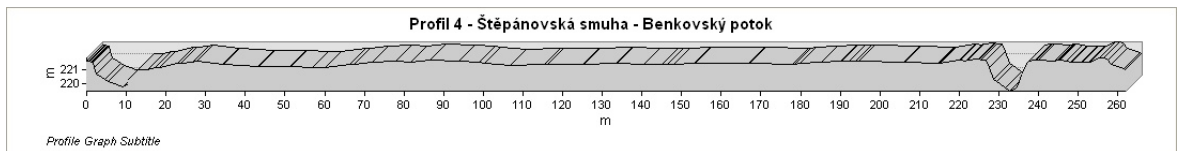
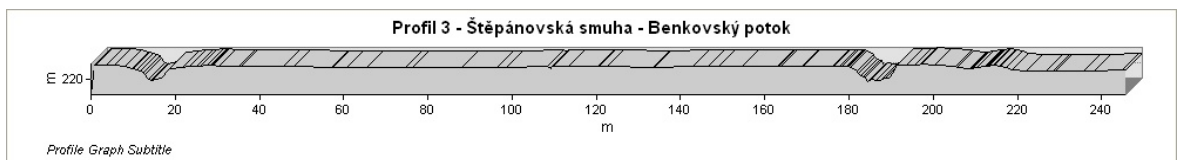
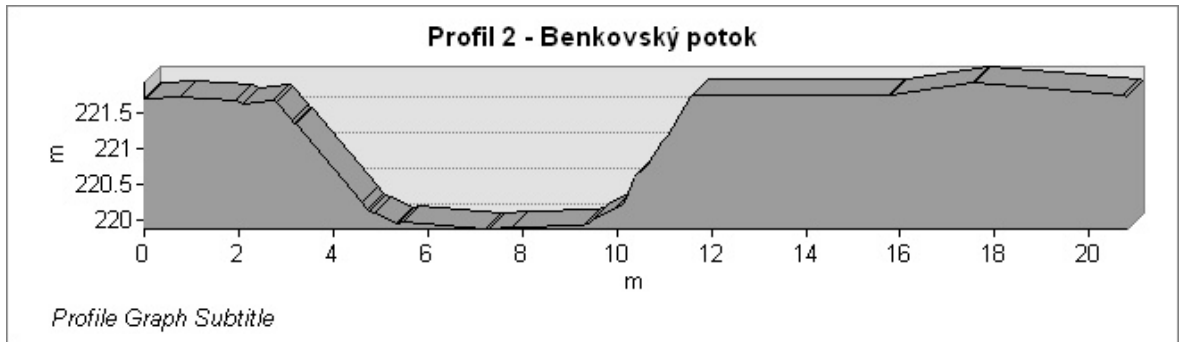
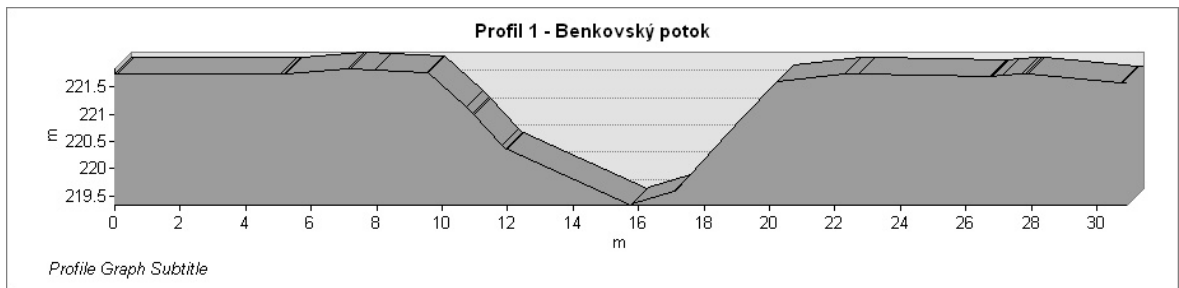
VLHKOPI PUDN: 57%
 TEPLOTA PUDN: 8,6°C

A Time Reading hour min sec	B Water level		C Cumulative time Determine from A min	D Time interval Determine from A min	E Infiltration Determine from B mm	F Infiltration capacity Calculate from D & E mm/min	G Infiltration capacity Calculate from F .../...	H Cumulative infiltration Determine from E mm
	before filling Reading mm	after filling Reading mm						
0:00:00		282,0	start = 0					start = 0
0:03:48	287,5	282,5		0:03:48	55	14,5		55
0:09:28	287,8	282,5		0:05:40	53	9,4		108
0:14:26	287,1	281,8		0:04:58	46	9,3		154
0:21:29	288,2	281,7		0:07:03	64	9,1		218
0:31:18	288,4	281,0		0:09:49	67	6,8		285
0:43:34	288,0	281,5		0:12:16	70	5,7		355
0:52:47	288,0	281,5		0:09:13	75	8,1		430
1:05:10	288,0	281,0		0:12:23	75	6,1		505
1:18:13	288,5	280,5		0:13:03	75	5,7		580
1:29:24	288,0	282,0		0:11:11	75	6,7		655
1:42:09	288,5	281,0		0:12:45	65	5,1		720
1:57:35	287,9	280,2		0:15:26	69	4,5		789
2:14:55	288,0	280,3		0:17:20	78	4,5		867
2:34:47	288,6			0:19:52	78	3,9		945

Příloha 2: Situační mapka umístění příčných profilů 1 – 8 v zájmovém území

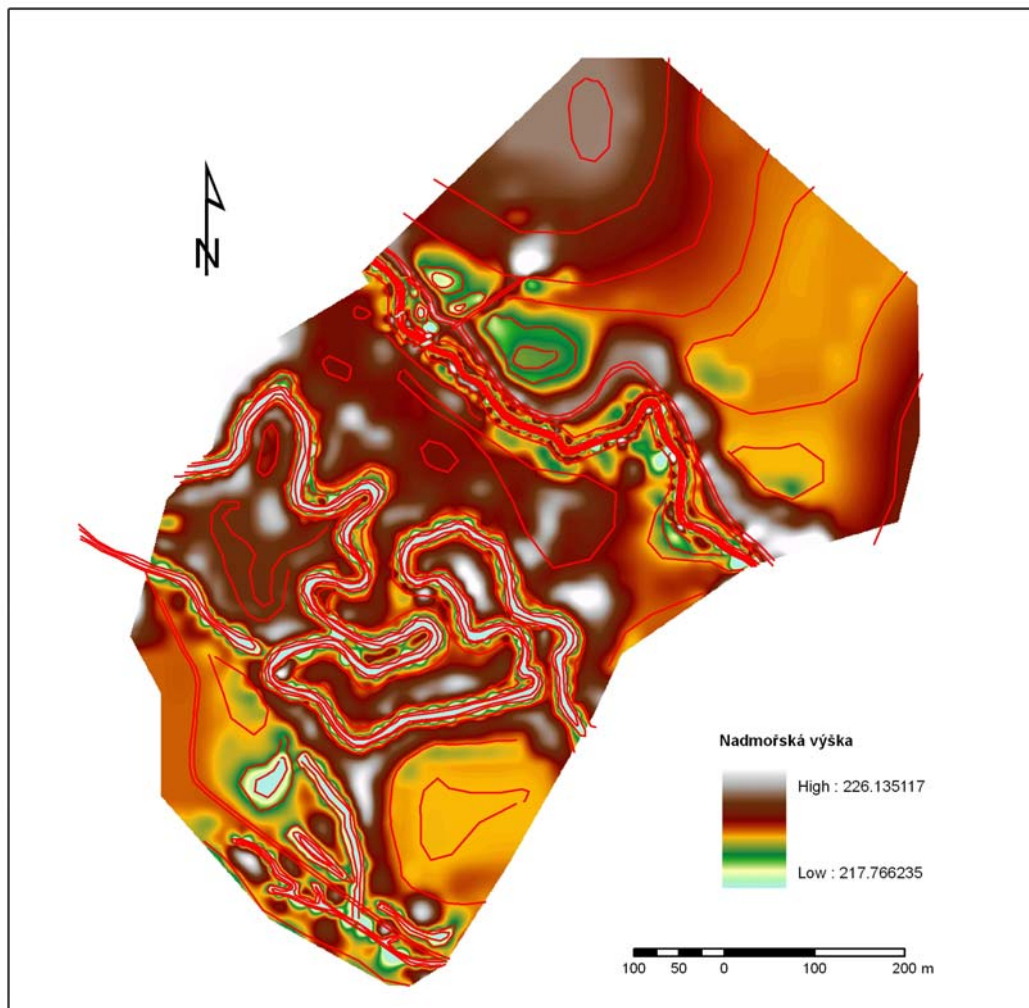


Příloha 3: Profily zájmovým územím

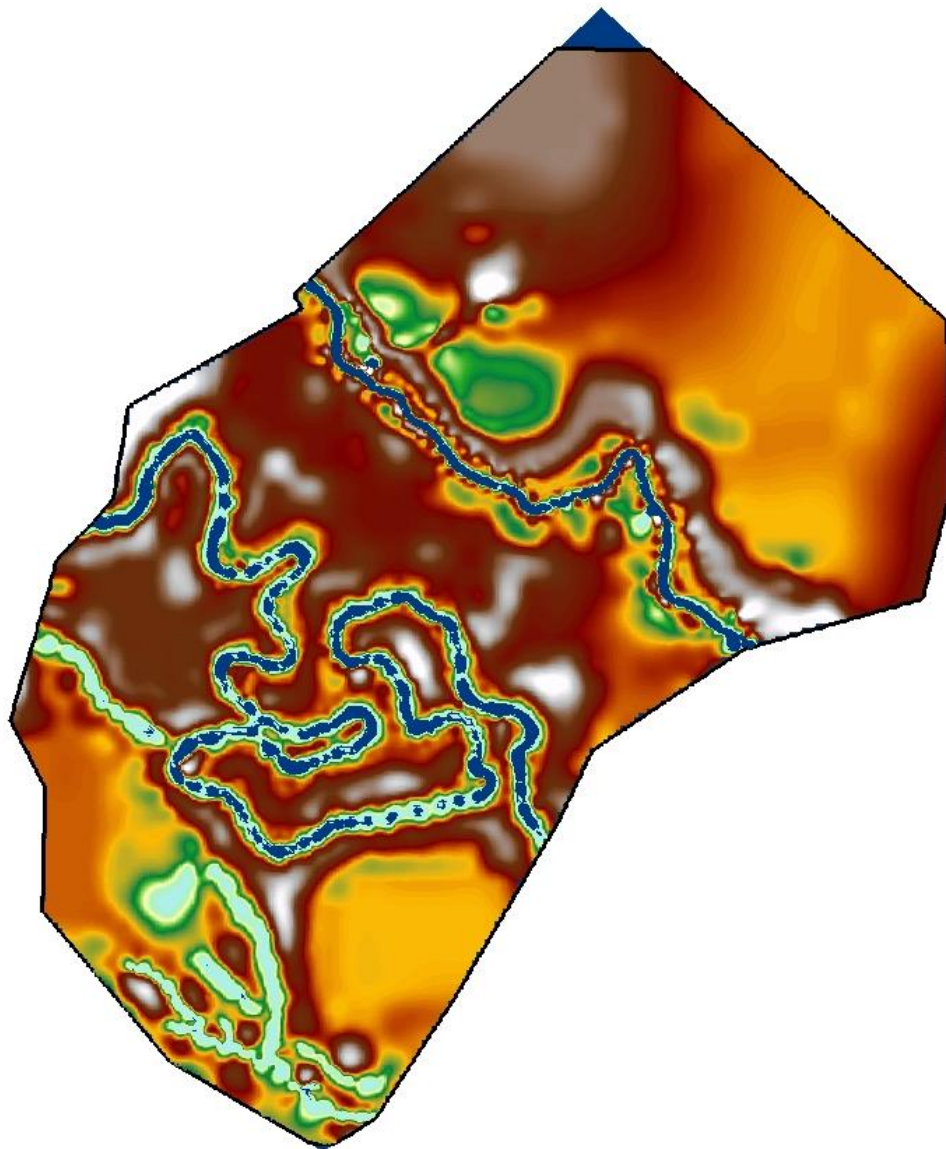


Příloha 4: Scénáře povodňových situací zájmového území

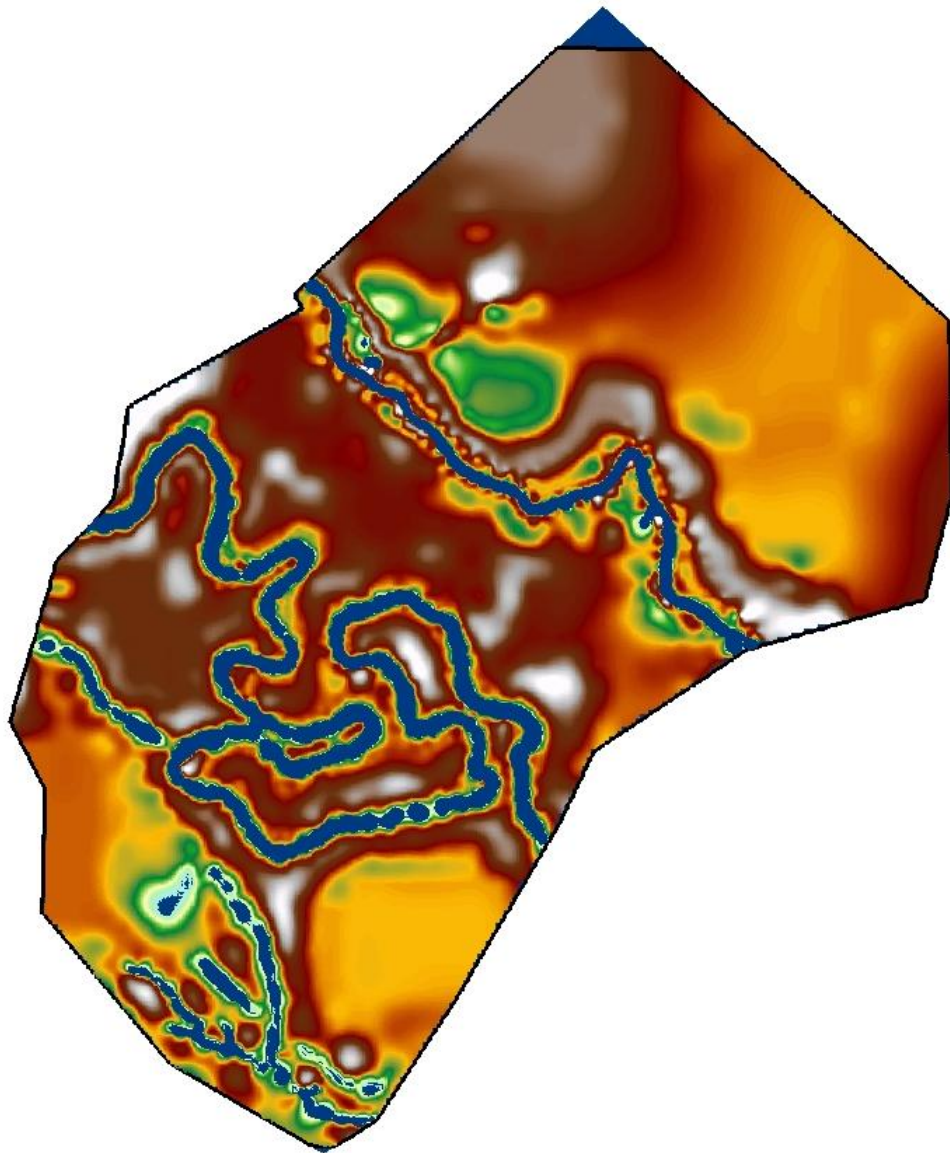
Obr. 1: Liniové prvky zájmového území



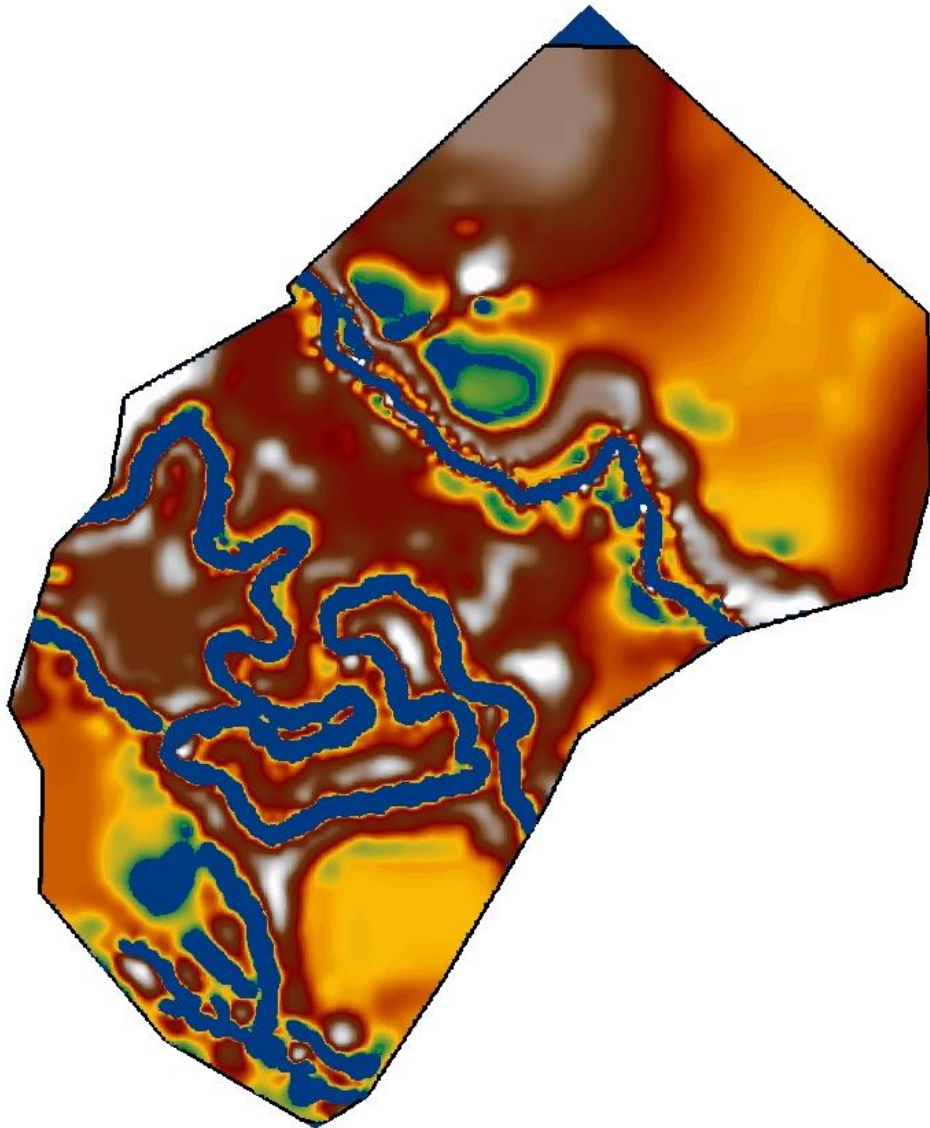
Obr. 2: Modelovaná výška hladiny 220 m n. m. (kalkulace se systémem depresí)



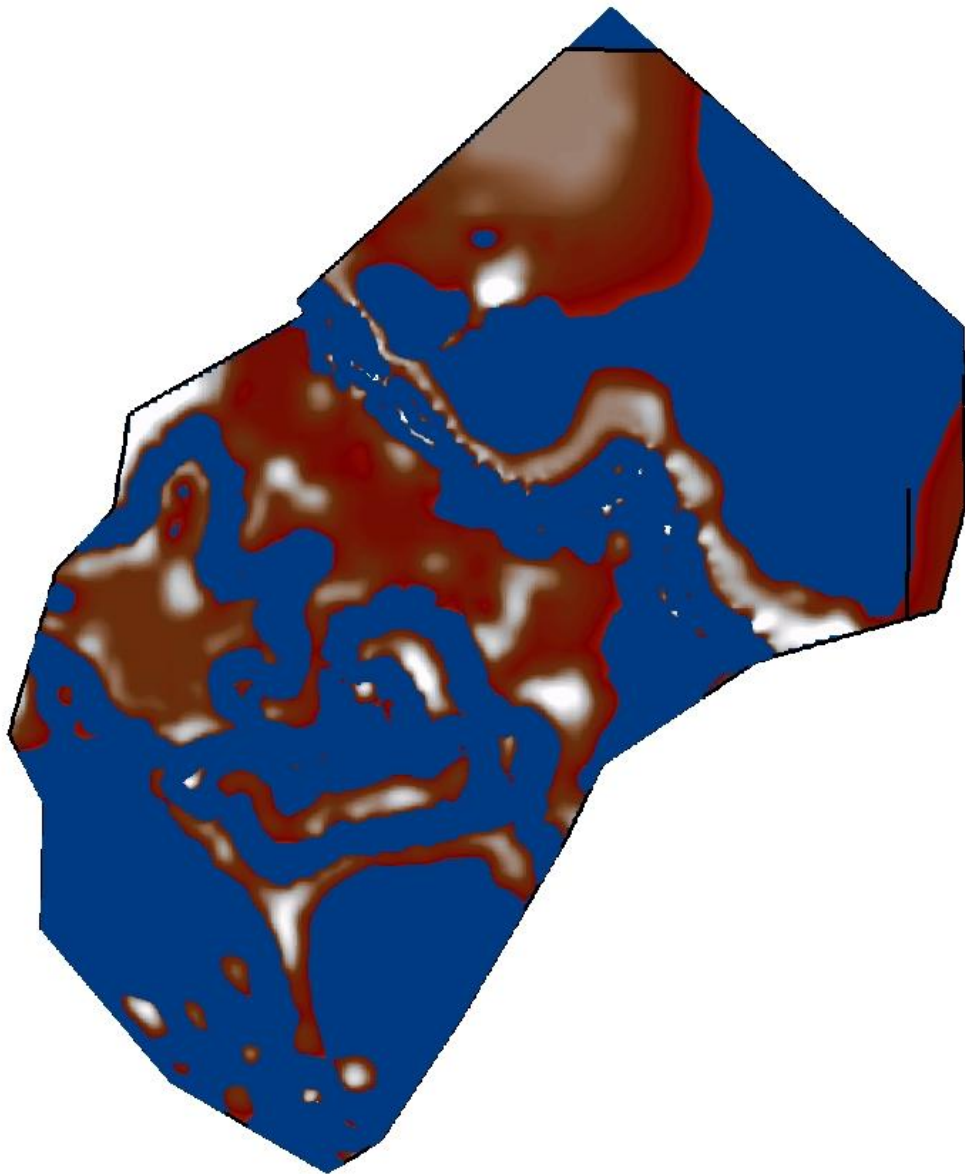
Obr. 3: Modelovaná výška hladiny 220,5 m n. m. (kalkulace se systémem depresí)



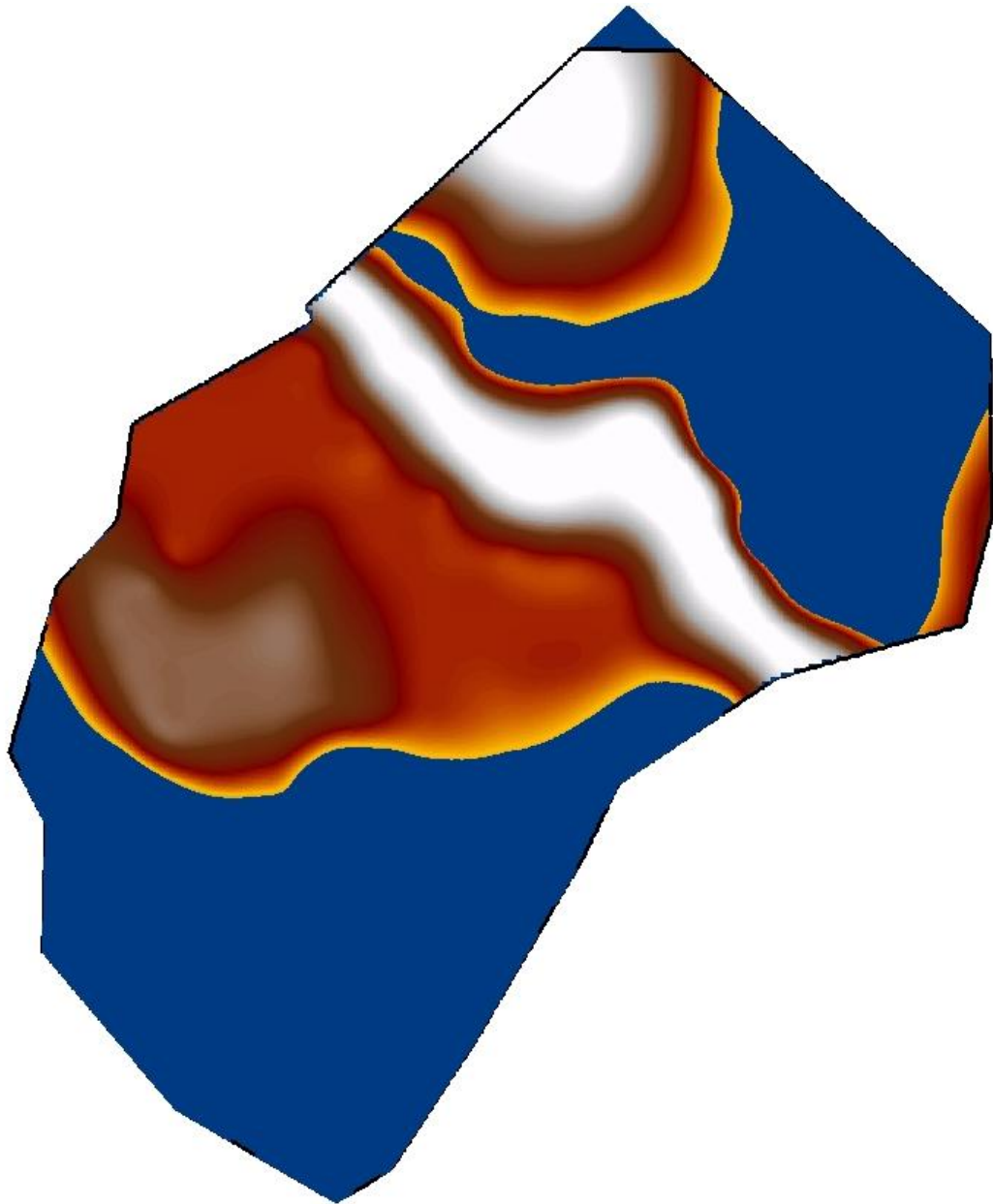
Obr. 4: Modelovaná výška hladiny 221 m n. m. (kalkulace se systémem depresí)



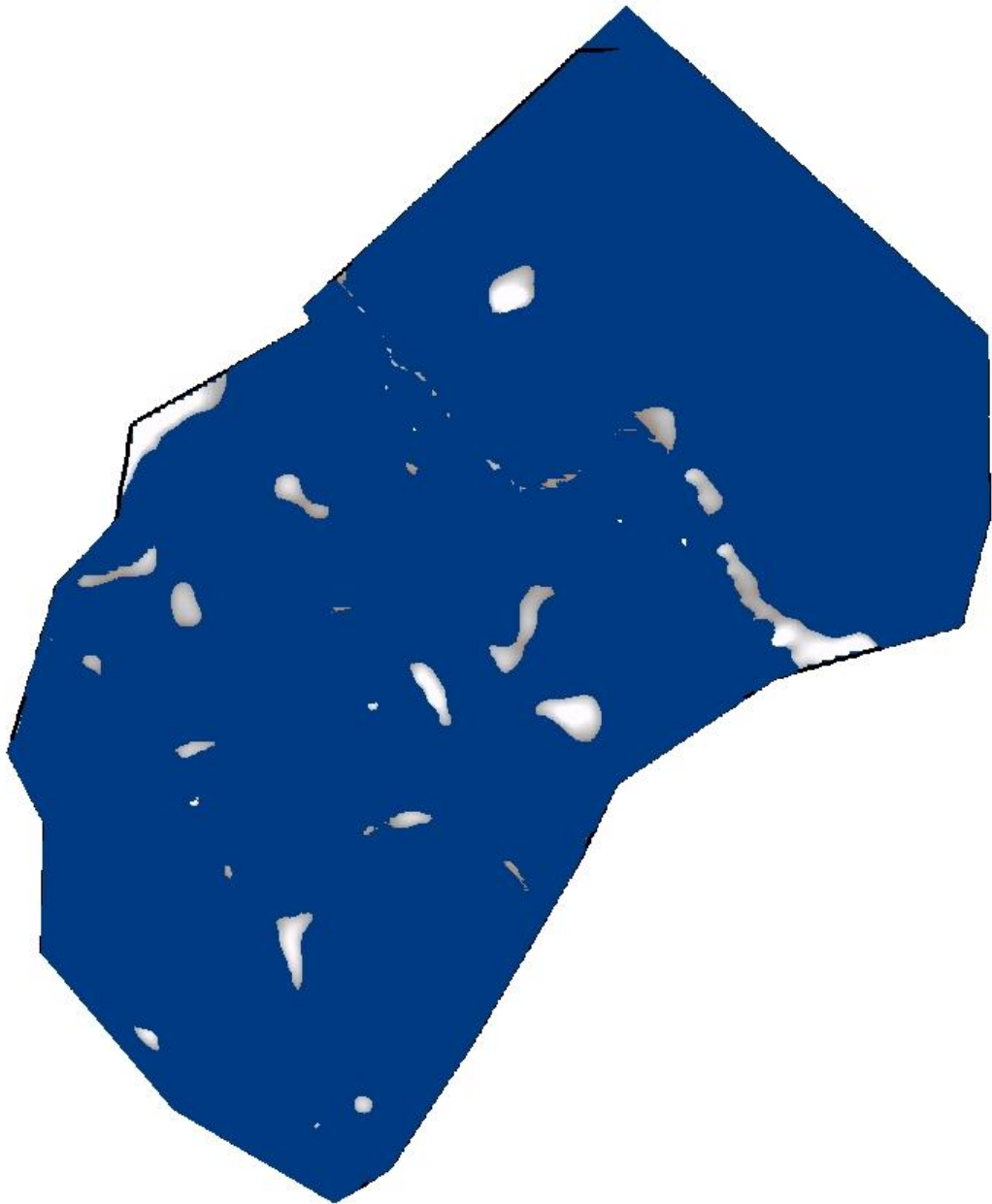
Obr. 5: Modelovaná výška hladiny 221,5 m n. m. (kalkulace se systémem depresí)



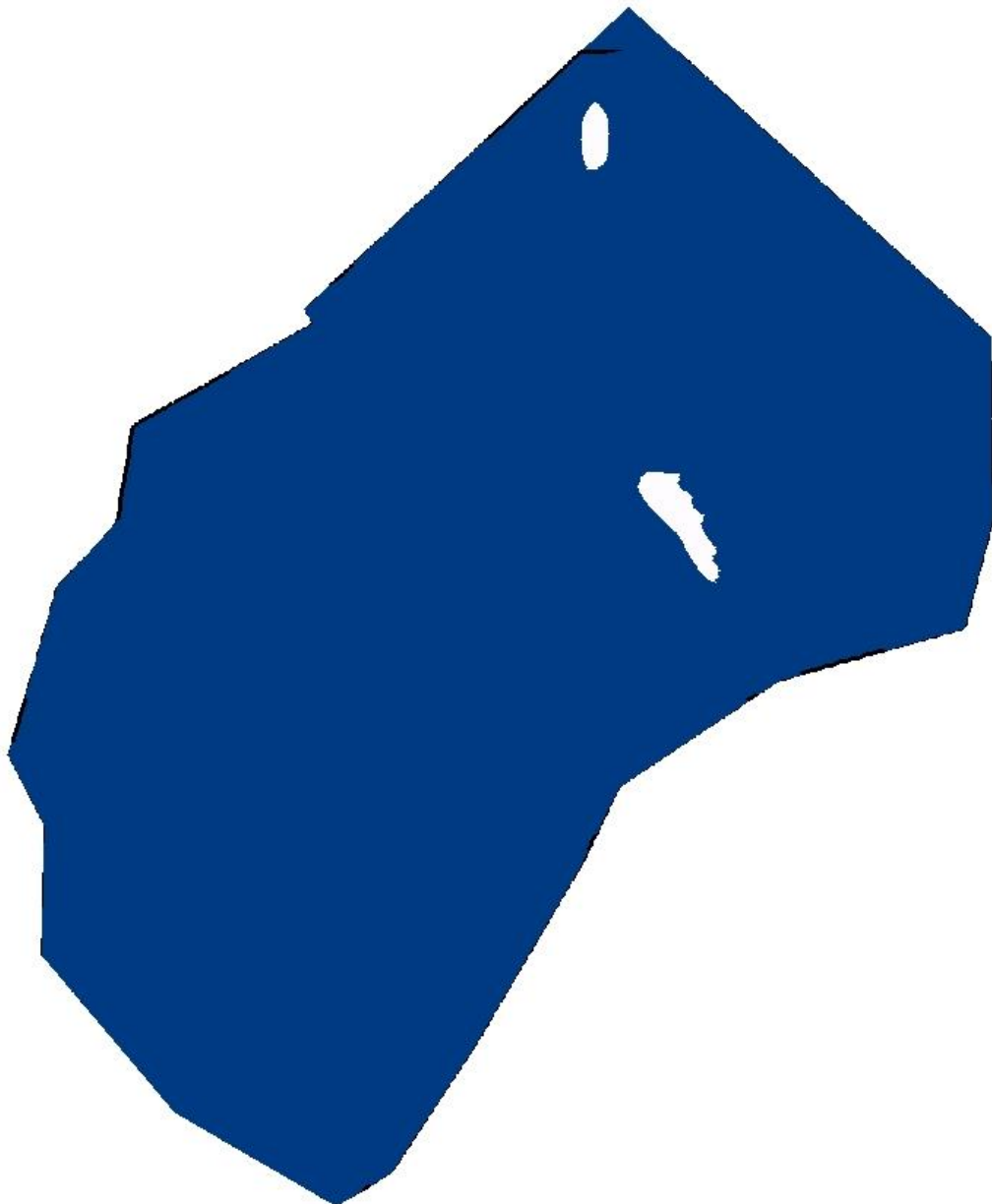
Obr. 6: Modelovaná výška hladiny 221,5 m n. m. (kalkulace bez smuh)



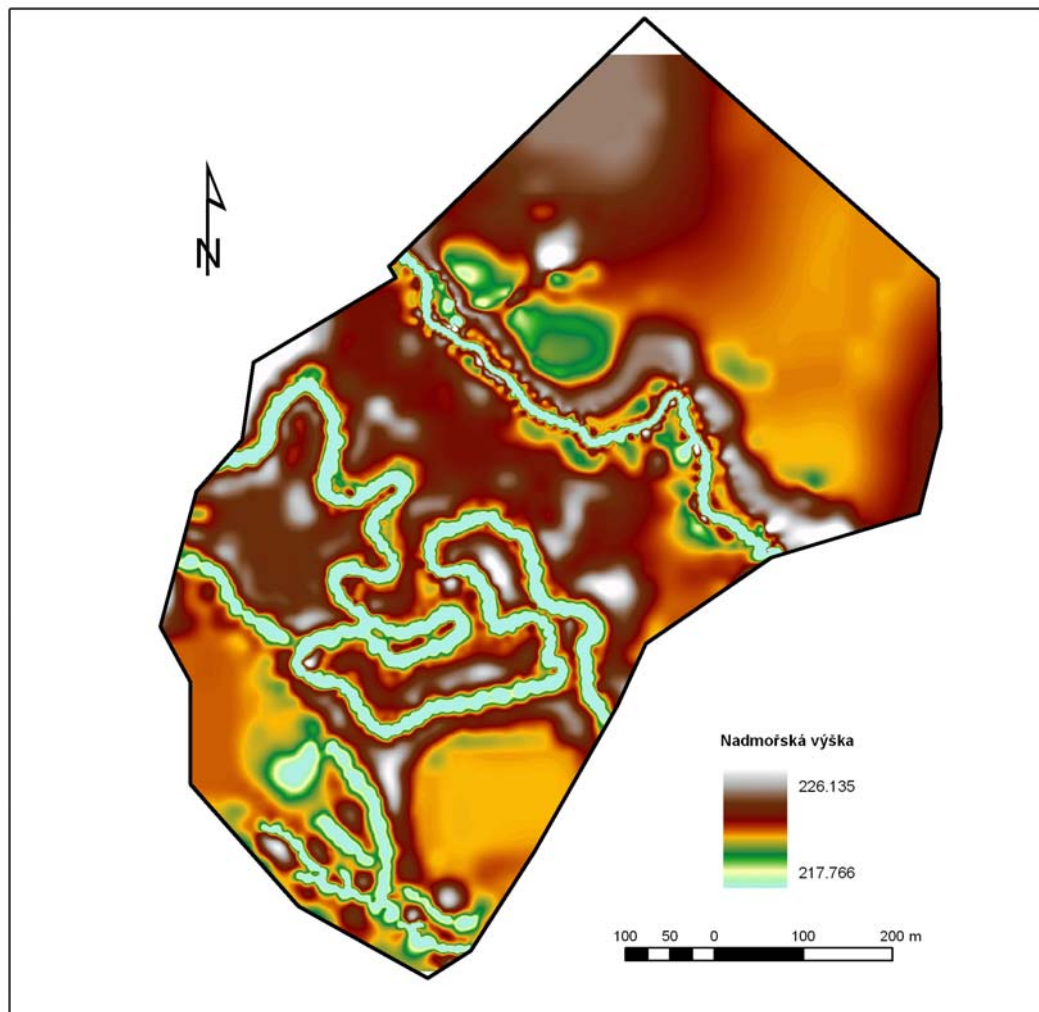
Obr. 7: Modelovaná výška hladiny 222 m n. m. (kalkulace se systémem depresí)



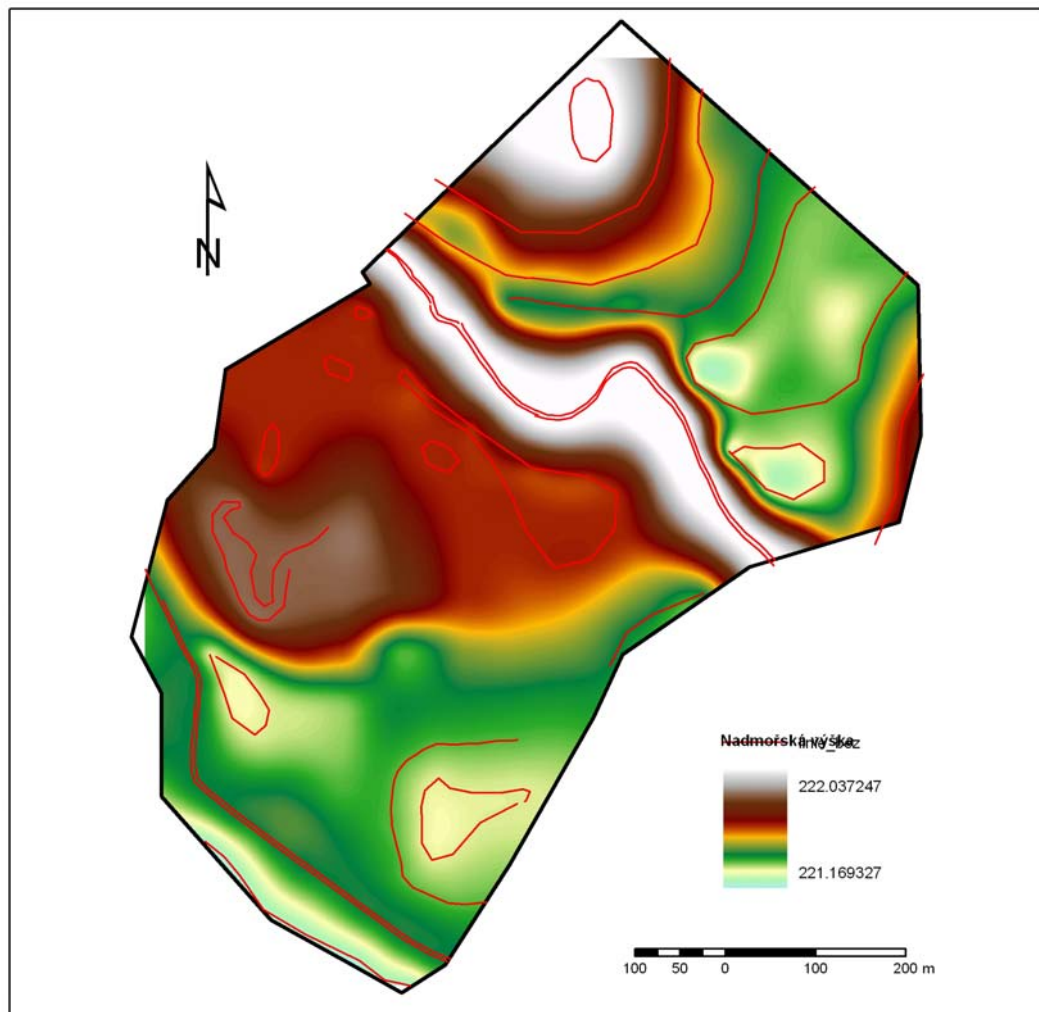
Obr. 8: Modelovaná výška hladiny 222 m n. m. (kalkulace bez smuh)



Obr. 9: Varianta scénáře kalkulující s depresemi v zájmovém území



Obr.10: Varianta scénáře kalkulující bez smuh



Příloha 5: Seznam fotografií

Měření reliéfu lužního lesa pomocí totální stanice:

- 001. Značení referenčního objektu
- 002. Příprava měření totální stanicí
- 003. Zaměřování referenčních objektů
- 004. Stanovení výšky přístroje
- 005. Pohled na nivelační tyč s hranolem
- 006. Měření totální stanicí
- 007. Měření totální stanicí reflexní metodou bez použití hranolu

Tvarová rozmanitost periodicky zaplavovaných koryt:

- 008. Benkovský potok – pohled proti proudu
- 009. Benkovský potok – pohled po proudu
- 010. Louka mezi Štěpánovskou smuhou a Benkovským potokem
- 011. Louka – pohled směrem ke Štěpánovské smuhy
- 012. Část Štěpánovské smuhy, která funguje jako periodická tůň
- 013. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 014. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 015. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 016. Detail koryta Štěpánovské smuhy
- 017. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 018. Louka – pohled směrem k Benkovskému potoku
- 019. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 020. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 021. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 022. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 023. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 024. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 025. Pohled do koryta Štěpánovské smuhy
- 026. Jedno z bočních ramen Štěpánovské smuhy
- 027. Vedlejší přítočné koryto Štěpánovské smuhy
- 028. Vedlejší přítočné koryto Štěpánovské smuhy s vyznačeným referenčním objektem
- 029. Vedlejší přítočné koryto Štěpánovské smuhy
- 030. Pohled do přítočného koryta Štěpánovské smuhy
- 031. Mělká smuha v lužním lese – proces zazemňování
- 032. Část Štěpánovské smuhy (viz fotografie č. 12) po deštích
- 033. Štěpánovská smuha – po deštích
- 034. Menší lesní smuha – protékaná jen při velkých povodních
- 035. Menší lesní smuha – protékaná jen při velkých povodních
- 036. Smuha v lužním lese

- 037. Pohled proti čelu panelové cesty – v popředí patrná deprese
- 038. Zvodněná Štěpánovská smuha
- 039. Zvodněná Štěpánovská smuha
- 040. Zvodněná Štěpánovská smuha
- 041. Zvodněná Štěpánovská smuha
- 042. Smuha v lužním lese
- 043. Smuha s porostem česneku medvědího
- 044. Typická krajina lužního lesa
- 045. Široká smuha

Měření infiltrace půd na louce a v lužním lese:

- 046. Umístění jednotlivých infiltrometrů na louce
- 047. Umístění jednotlivých infiltrometrů na louce s nářadím a měřicími pomůckami
- 048. Měření infiltrometrem – označené jako louka 1
- 049. Detailní pohled na dvouválcový infiltrometr – louka 1
- 050. Měření infiltrometrem – označené jako louka 2
- 051. Měření infiltrometrem – označené jako louka 3
- 052. Měření v lužním lese – les 1
- 053. Měření v lužním lese – detail měření – les 1
- 054. Zásoba vody pro pokus infiltrace
- 055. Měření v lužním lese – les 1 po naplnění vodou
- 056. Měření v lužním lese – les 2 – příprava válců
- 057. Měření v lužním lese – les 2 – s barelem na vodu
- 058. Měření v lužním lese – les 3 – příprava válců
- 059. Měření v lužním lese – les 3 – s barelem na vodu
- 060. Určování polohy stanoviště diferenční GPS
- 061. Použité nářadí při infiltraci půd

Odběr půdních vzorků pro analýzu zrnitosti:

- 062. Sada pro odběr půdních vzorků
- 063. Odběr půdního vzorku
- 064. Odběr půdního vzorku
- 065. Odběr půdního vzorku
- 066. Půdní vzorek